ADMINISTRATION DES MINES — BESTUUR VAN HET MIJNWEZEN

Annales des Mines

DE BELGIQUE



Annalen der Mijnen

VAN BELGIE

Direction - Rédaction :

INSTITUT NATIONAL DES INDUSTRIES EXTRACTIVES

Directie - Redactie

NATIONAAL INSTITUUT VOOR DE EXTRACTIEBEBRIJVEN

4000 LIEGE, Bois du Val Benoit, rue du Chéra — TEL. (04) 52.71.50

Journée des Carriers organisée par l'Institut National des Industries Extractives à Liège, le 7 décembre 1970 - Dag van de groeveuitbaters georganiseerd door het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven te Luik, op 7 december 1970. Exposés par - Verslagen door : L. Brison, C. Mingels, J. Boxho, L. Brison - J. Brych, L. Deffet - C. Fossé, P. Goffart, R. Vandeloise, A. François, R. Liégeois, V. Chandelle, W. Fassotte - M. Saussez, P. Cuvelier. — Iniex : Revue de la littérature technique.

FEVRIER 1971 — Mensuel — N° 2 — Maandelijks — FEBRUARI 1971

ADMINISTRATION DES MINES — BESTUUR VAN HET MIJNWEZEN

Annales des Mines

DE BELGIQUE



Annalen der Mijnen

VAN BELGIE

Direction - Rédaction :

INSTITUT NATIONAL DES INDUSTRIES EXTRACTIVES

Directie - Redactie

NATIONAAL INSTITUUT VOOR DE EXTRACTIEBEDRIJVEN

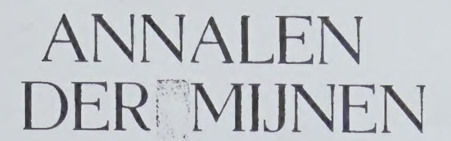
4000 LIEGE, Bois du Val Benoit, rue du Chéra — TEL. (04) 52.71.50

Journée des Carriers organisée par l'Institut National des Industries Extractives à Liège, le 7 décembre 1970 - Dag van de groeveuitbaters georganiseerd door het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven te Luik, op 7 december 1970. Exosés par - Verslagen door : L. Brison, C. Mingels, J. Boxho, L. Brison - J. Brych, L. Deffet - C. Fossé, P. Goffart, R. Vandeloise, A. François, R. Liégeois, V. Chandelle, W. Fassotte - M. Saussez, P. Cuvelier. — Iniex : Revue de la littérature technique.

FEVRIER 1971 Mensuel — N° 2 — Maandelijks **FEBRUARI 1971**

ANNALES DES MINES
DE BELGIQUE

n° 2 — février 1971



ANNALEN DER MIJNEN
VAN BELGIE

nr. 2 februari 1971

Direction-Rédaction :
INSTITUT NATIONAL DES INDUSTRIES EXTRACTIVES

Directie-Redactie :
NATIONAAL INSTITUUT VOOR DE EXTRACTIEBEDRIJVEN

4000 LIEGE, Bois du Val Benoit, rue du Chéra — TEL. (04) 52.71.50

Sommaire - Inhoud

EDITION - ABONNEMENTS - PUBLICITE - UITGEVERIJ - ABONNEMENTEN - ADVERTENTIES

1050 BRUXELLES • EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES • 1050 BRUSSEL

Rue Borrens, 35-43 - Borrensstraat — TEL. 48.27.84 - 47.38.52

Dépôt légal : D/1971/0168

Wettelijke depot : D/1971/0168

Journée des carriers

Journée d'information organisée par l'Institut National des Industries Extractives à Liège, le 7 décembre 1970

Première partie sous la présidence de M. L. BRISON, Professeur d'Exploitation des Mines à la Faculté Polytechnique de Mons, Vice-Président du Conseil d'Administration de l'INIEX.

- ☐ Utilisation d'une haveuse Perrier, en marbre.
  C. MINGELS.
- ☐ Essais de découpage du petit granit par une haveuse Perrier.
  J. BOXHO.
- ☐ Influence des propriétés physico-mécaniques sur le processus de découpage des roches.
  L. BRISON et J. BRYCH.
- ☐ Etudes de la détonation et de ses effets dans les matériaux condensés.
  L. DEFFET et C. FOSSé.
- ☐ La fragmentation secondaire par charges appliquées.
  P. GOFFART.
- ☐ Etude de l'ébranlement des terrains lors des tirs en masse.
  R. VANDELOISE.

Deuxième partie sous la présidence de M. A. FRANÇOIS, Directeur Général de la S.A. des Carrières et Fours à Chaux d'Aisemont.

- ☐ Télécommunications en carrières souterraines.
  R. LIEGEOIS.
- ☐ La manutention des produits granuleux par air-slide et par air-lift.
  V. CHANDELLE.
- ☐ Recherches sur la cinétique de la décomposition du calcaire.
  W. FASSOTTE et M. SAUSSEZ.
- ☐ Le four Maerz et ses performances.
  P. CUVELIER.

Dag van de groeveuitbaters

Informatiedag georganiseerd door het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven te Luik op 7 december 1970

Eerste deel onder het voorzitterschap van de Heer L. BRISON, Hoogleraar voor Mijnbouw aan de Faculté Polytechnique de Mons, Ondervoorzitter van de Raad van Beheer van het NIEB.

- ☐ Gebruik van een Perrier-snijmachine, in marmer.
  C. MINGELS.
- ☐ Versnijdingsproeven van hardsteen met een Perrier-snijmachine.
  J. BOXHO.
- ☐ Invloed van de fysico-mechanische eigenschappen op het versnijdingsprocessus van de gesteenten.
  L. BRISON en J. BRYCH.
- ☐ Studies over de ontsteking en over de weerslag ervan in de gecondenseerde materialen.
  L. DEFFET en C. FOSSé.
- ☐ De secondaire verbrokkeling door middel van aangebrachte ladingen.
  P. GOFFART.
- ☐ Studie van trillen van de gesteenten tijdens het massaschietwerk.
  R. VANDELOISE.

Tweede deel onder het voorzitterschap van de Heer A. FRANÇOIS, Directeur van de S.A. des Carrières et Fours à Chaux te Aisemont.

- ☐ Telecommunicatie in ondergrondse groeven.
  R. LIEGEOIS.
- ☐ Het laden en lossen van korrelige produkten door middel van air-slide en air-lift.
  V. CHANDELLE.
- ☐ Onderzoekingen op het gebied van de kinetiek van de ontleding van de kalksteen.
  W. FASSOTTE en M. SAUSSEZ.
- ☐ De Maerz-oven en de prestaties ervan.
  P. CUVELIER.

Introduction

Inleiding

L. BRISON *

Messieurs,

En l'absence de M. Vandenheuvel, retenu à Bruxelles par les tâches qui lui incombent en tant que Directeur Général des Mines, c'est pour moi un honneur et un plaisir de vous accueillir au nom du Conseil d'Administration de l'Institut National des Industries Extractives.

Il y a un peu plus d'un an que l'Iniex vous invitait à vous réunir, en cette salle, pour un échange d'informations sur les problèmes qui se posent dans l'industrie des carrières et sur les moyens disponibles dans les divers départements de l'INIEX.

Depuis cette époque, notre Institut a introduit dans son programme d'activités un certain nombre de recherches qui intéressent spécifiquement les exploitants de carrières en roches cohérentes.

En organisant la présente journée d'information, nous n'avons pas eu en vue de vous présenter un rapport final sur chacune de ces études qui, à leur achèvement, feront l'objet d'une publication; mais nous avons pensé qu'il était opportun de vous présenter dès maintenant des exposés de courte durée ayant pour but de faire le point sur l'état d'avancement des travaux et de permettre un échange de vues sur les résultats déjà acquis et sur l'orientation des recherches ultérieures.

Nous avons également estimé que le débat gagnerait en intérêt si nous pouvions inclure dans le programme quelques exposés présentés par des exploitants de carrières et par des chercheurs

* Professeur à la Faculté Polytechnique de Mons, Vice-Président du Conseil d'Administration d'INIEX.

Mijne Heren,

Nu de heer Vandenheuvel verhinderd is, daar hij als Directeur-Generaal der Mijnen te Brussel moet zijn, heb ik de eer en het genoegen U te verwelkomen in naam van de Beheerraad van het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven.

Iets meer dan een jaar geleden heeft het NIEB U hier samengebracht voor een gedachtenwisseling over de problemen van de groefnijverheid en over de hulpmiddelen die door de verschillende afdelingen van het NIEB konden ter beschikking gesteld worden.

Sedertdien heeft het Instituut in zijn programma een bepaald aantal onrzoekingen opgenomen die speciaal belangrijk zijn voor de exploitanten van groeven waar vaste gesteenten worden ontgonnen.

Met deze informatiedag willen we U geen eindverslag voorleggen over ieder van deze studies, vermits ze bij hun voltooiing zullen gepubliceerd worden; wij hebben evenwel geoordeeld U nu reeds in korte bewoordingen te moeten melden hoever wij staan en een gedachtenwisseling mogelijk te maken over de reeds bereikte resultaten en de richting waarin ons werk moet verder gaan.

Wij hebben ook gemeend dat de bespreking aan belang zou winnen indien wij in ons programma enkele voordrachten inlasten van exploitanten van steengroeven en van vorsers die tot andere

* Professor aan de Faculté Polytechnique de Mons, Ondervoorzitter van de Beheerraad van het NIEB.

appartenant à d'autres groupes scientifiques et techniques. C'est pour moi un bien agréable devoir que de remercier tous ceux qui ont bien voulu répondre à notre appel et contribuer à la réalisation de notre programme et en particulier :

MM. Mingels et Delincé de la S.A. Merbes-Sprimont,

MM. Collinet et Cuvelier de la S.A. Carmeuse,

MM. Deffet et Fossé du Centre de Recherches Scientifiques et Techniques pour l'Industrie des Produits Explosifs,

M. Goffart, Ingénieur Principal Divisionnaire au Service des Explosifs, et mon excellent collaborateur: M. Brych, Chef de Travaux à la Faculté Polytechnique de Mons.

Je tiens encore à souligner qu'en raison du choix des sujets présentés, seuls les exploitants de carrières en roche cohérente ont été invités à la présente journée.

Une séance d'information particulière avait été organisée dès le mois de septembre pour les membres du Groupement National de l'Industrie de la Terre Cuite et il entre dans nos intentions, dans l'avenir, de continuer à organiser des réunions distinctes pour les exploitants de roches dures et pour les exploitants de roches meubles, leurs problèmes étant de nature très différente.

Messieurs,

Je m'en voudrais de retarder la séance de travail par un plus long préambule. Qu'il me soit permis de remercier les très nombreux exploitants de carrières qui ont bien voulu répondre à notre invitation et aussi de me féliciter de la présence de M. Venter, Directeur honoraire de l'Inichar, qui durant bon nombre d'années a été le maître d'œuvre du développement de notre Institut.

wetenschappelijke en technische groepen behoren. Het is voor mij een aangename taak al diegenen te mogen danken die onze oproep hebben beantwoord en meegewerkt hebben aan de uitwerking van ons programma, in het bijzonder :

de heren Mingels en Delincé van de N.V. Merbes-Sprimont;

de heren Collinet en Cuvelier van de N. V. Carmeuse;

de heren Deffet en Fossé van het Centrum voor wetenschappelijk en technisch onderzoek van de springstoffenindustrie;

dhr Goffart, Eerstaanwezend Divisieïngenieur bij de Dienst der Springstoffen, en mijn uitmuntende medewerker, dhr Brych, Dienthoofd aan de Faculté Polytechnique de Mons.

Ik wil er nog op wijzen dat het, wegens de keuze van de onderwerpen die besproken worden, alleen de exploitanten van de groeven voor vaste gesteenten zijn, die vandaag werden uitgenodigd.

Een afzonderlijke informatiedag werd georganiseerd in de maand september voor de leden van de Nationale Groepering der Kleinijverheid en wij zouden ook in de toekomst afzonderlijke bijeenkomsten willen organiseren voor de exploitanten van harde gesteenten en die van weke gronden, vermits hun problemen van heel verschillende aard zijn.

Mijne Heren,

Ik wil de sprekers niet langer ophouden door een te lange inleiding. Het weze mij nog vergund de groefexploitanten te danken, die zeer talrijk onze uitnodiging hebben beantwoord en mijn blijdschap uit te drukken over de aanwezigheid van de heer Venter, Ere-Directeur van Inichar die zo lange jaren de leiding had bij de ontwikkeling van ons Instituut.

Utilisation d'une haveuse Perrier dans une carrière de marbre

Gebruik van een snijmachine Perrier in een marmergroeve

C. MINGELS *

RESUME

Après avoir été utilisé pendant de nombreuses années avec tous les inconvénients dus à l'exiguïté des trous d'exploitation, le fil a été remplacé, dans les Carrières de Marbre Rouge de Merbes-Sprimont, par une haveuse-rouilleuse de marque française Perrier.

Une telle machine a effectué à ce jour 10.000 m² de sciage pour la création de coupes verticales de 2,60 m de profondeur en une seule passe.

Une description détaillée de la machine donne les caractéristiques des différents éléments et surtout celles de la lame bras, de la chaîne et des outils, éléments essentiels de cet engin.

L'auteur donne ensuite les rendements horaires atteints (2,1 m² par heure), les temps de différentes opérations, le personnel nécessaire et le prix de revient obtenu comparé à celui du fil et à celui de l'air comprimé.

Le coût de quelques pièces et leur durée de vie sont cités à titre d'information.

Il termine par l'énumération des inconvénients et avantages de la machine.

SAMENVATTING

Na lange jaren van moeilijkheden, te wijten aan de engheid van de ontginningsgaten, werd de draad in de Rode-Marmergroeven van Merbes-Sprimont vervangen door een franse snijmachine-kerfmachine° van het merk Perrier.

Een soortgelijke machine heeft tot op heden 10.000 m² zaagwerk verricht bij het aanbrengen van vertikale sneden met een diepte van 2,60 m in één enkele pas.

Een gedetailleerde beschrijving van de machine geeft de kenmerken van de verschillende elementen en vooral van de arm, de ketting en de beitels, elementen die in dit toestel essentieel zijn.

Voorts geeft de auteur de bereikte rendementen-per-uur (2,1 m² per uur), de duur van verschillende operaties, het vereiste personeel en de bekomen kostprijs die vergeleken wordt met de draad en de perslucht.

Bij wijze van inlichting wordt de kostprijs van enkele onderdelen alsmede hun levensduur opgegeven.

De auteur besluit met de opsomming van de voor- en nadelen van de machine.

INHALTSANGABE

Jahrelang hat man in den Marmorsteinbrüchen von Merbes-Sprimont mit Schneidseilen gearbei-

SUMMARY

After the wire had been used for a great many years, with all the inconveniences caused by the restricted dimensions of the working holes, it was replaced, in the Red Marble Quarries of Merbes-

* S.A. Merbes - Sprimont.

tet, trotz der Nachteile, die der kleine Zuschnitt der Betriebspunkte mit sich brachte. Inzwischen aber ist man zu einer Kerbmaschine französischer Bauart, hergestellt von der Firma Perrier, übergegangen.

Eine derartige Maschine hat bis heute eine Fläche von 10.000 m² Gestein freigelegt und dabei in einem Arbeitsgang 2,60 m tiefe senkrechte Kerbschnitte hergestellt.

Der Aufsatz gibt eine eingehende Beschreibung der Maschine und ihrer wesentlichen Teile, vor allem des Kerbarms, der Kette und der Meissel. Weiter enthält er Angaben über die erzielten Leistungen (2,1 m²/h), den Zeitaufwand für die einzelnen Tätigkeiten, die Zahl der benötigten Arbeitskräfte, den Preis einzelner Teile und ihre Lebensdauer sowie die Gesamtkosten im Vergleich zum Betrieb mit Schneidseil und Druckluft. Den Schluss bildet eine Gegenüberstellung der Vorzüge und Nachteile der Maschine.

Sprimont, by a Perrier shearer-cutter of French manufacture.

Such a machine has so far cut 10,000 m² for the creation of vertical cuts of 2.60 m deep in a single cut.

A detailed description of the machine gives the characteristics of the various parts, especially those of the blade, jib, chain and tools, which are the essential parts of this apparatus.

The author then reports the hourly outputs achieved (2.1 m² per hour), the times of the various operations, the personnel required and the cost price obtained as compared with that of the wire and that of compressed air.

The cost of some of the spare parts and their durability are quoted for informational purposes.

In conclusion, there is a list of the advantages and disadvantages of the machine.

SOMMAIRE

INHOUD

1. INTRODUCTION

Les procédés utilisés dans l'exploitation de carrières de marbre étaient restés très primitifs jusqu'après la deuxième guerre mondiale. L'application de la vapeur, de l'air comprimé et puis de l'électricité, avait progressivement et timidement remplacé la force musculaire dans le domaine du forage et des manutentions de chantier.

Le travail de sciage au rocher faisait encore appel au sable avec utilisation du fil à 3 brins à faible vitesse et circuit long, courant d'un poteau de renvoi à l'autre tout autour d'un trou d'exploitation, souvent fort exigu dans les récifs isolés de marbre rouge.

En plus des sujétions créées par la longueur du circuit et le nombre élevé de poulies plus ou

1. INLEIDING

De in de marmergroeven aangewende procédé's bleven uiterst primitief tot na de tweede wereldoorlog Stilaan was de mankracht door stroom, perslucht en dan elektriciteit vervangen op het gebied van het boorwerk en de behandeling op het werk.

Voor het zagen van de rotsen werd nog gebruik gemaakt van zand en van een draad bestaande uit drie strengen die met een kleine snelheid een lange omloop aflegde, gaande van de ene keerpaal naar de andere rond een ontginningsgat, vaak van zeer kleine afmetingen, in de geïsoleerde riffen van rood marmer.

Naast de verwikkelingen veroorzaakt door de lange omloop en het groot aantal min of meer

moins bien placées, l'installation de l'appareil de sciage au rocher entraînait la création de puits verticaux ou de tranchées pour les sciages horizontaux nécessaires pour la création de lits artificiels.

Ceci entraînait non seulement une perte de matière, mais aussi une perte de temps pouvant atteindre 2 mois et des frais de main-d'œuvre grevant le prix de revient de la matière vendable.

Au début le système d'exploitation était basé sur la création de « buffets » volumineux isolés de la masse récifale à l'aide du fil de sciage. Ces buffets étaient ensuite basculés et découpés en éléments plus petits à l'aide, soit du fil, soit de marteaux-perforateurs. Les masses réduites atteignaient encore des proportions importantes et un poids considérable: 30 à 50 t.

Les massifs de marbre rouge étant rarement de longue durée d'exploitation, les frais élevés entraînés par l'installation de puissants engins de levage appelés à devoir être déplacés après une durée d'utilisation de quelques années, obligea les exploitants à réduire le volume des « buffets » débités au rocher.

Si le débitage d'isolement se faisait encore au fil, le débitage secondaire se fit progressivement à l'air comprimé (waggon drills), les défauts naturels servant de base de traçage.

L'apparition d'une haveuse à bras de 2,60 m utile avec chaîne et outils adaptés aux pierres dures a permis de modifier le système d'exploitation traditionnel par puits et coupes et d'améliorer le rendement des masses traitées.

Une haveuse-rouilleuse de la marque française «Perrier» est en service depuis fin 1966 dans les carrières de marbre de Merbes-Sprimont et a déjà effectué à ce jour 10.000 m² de sciage.

Sa principale fonction est de créer les buffets longitudinaux à l'aide de coupes verticales d'une profondeur de 2,60 m, espacées entre elles de 1 m.

Le coupage au pied du buffet se fait à l'aide de marteaux perforateurs et d'aiguilles anglaises.

Les masses obtenues ont toutes 2 dimensions fixes, soit 2,60 m x 1 m, et une longueur variable. Elles ne dépassent pas 12 t et sont hissées hors du trou d'exploitation à l'aide d'une grue sur pneus.

Nous allons décrire le matériel de havage utilisé, ses performances, son prix de revient et les modifications qui y furent apportées au cours des années d'utilisation.

goed geplaatste schijven, vergde het installeren van de zaagapparatuur in de rots het maken van vertikale putten of van grachten voor het horizontaal zagen, vereist voor het afbakenen van een kunstmatig scheidingsvlak.

Dit betekende niet alleen een verlies van grondstof maar ook van tijd, tot twee maanden soms, en arbeidskosten die de kostprijs van het verkoopbaar produkt kwamen verzwaren.

Oorspronkelijk was het ontginningssysteem gebaseerd op de vorming van omvangrijke blokken die van de rifmassieven werden afgescheiden met behulp van de draadzaag. Vervolgens werden deze blokken gekiept en in kleinere elementen gesneden hetzij met de draad hetzij met boorhamers. De kleinere massa's hadden nog indrukwekkende afmetingen en een behoorlijk gewicht : 30 tot 50 t.

De massieven van rood marmer kenden zelden een lange levensduur, de hoge kosten verbonden aan het oprichten van hijstoestellen die na enkele jaren van bedrijfvigheid moesten verplaatst worden dwongen de ontginners kleinere blokken uit de rots te snijden.

Terwijl het isoleren nog met de draad gebeurde, werd het secundair verdelen geleidelijk uitgevoerd met perslucht (waggon drills) waarbij de natuurlijke gebreken de basis vormden van de verdeling.

Dank zij de opkomst van een snijmachine met een arm van 2,60 m en met een ketting en beitels die aangepast waren aan harde gesteenten kon het traditioneel ontginningssysteem met putten en insnijdingen worden gewijzigd en het rendement van de behandelde massieven worden verbeterd.

Een snij- en kerfmachine van het franse merk « Perrier » is sedert einde 1966 in bedrijf in de marmergroeven Merbes-Sprimont en heeft tot op heden 10.000 m² zaagwerk op haar actief.

Haar voornaamste taak is het vormen van langwerpige blokken door middel van vertikale sneden met een diepte van 2,60 m, op afstanden van 1 m.

Aan de voet van het blok wordt gesneden met behulp van boorhamers en engelse wiggen.

De aldus bekomen massieven hebben alle 2 vaste afmetingen, namelijk 2,60 m × 1 m, en een veranderlijke lengte. Hun gewicht gaat niet boven de 12 t; ze worden uit de ontginningsgroeve gehesen met behulp van een kraan op luchtbanden.

Wij beschrijven nu het gebruikt snijmaterieel, zijn prestaties, zijn kostprijs en de wijzigingen die er tijdens jaren van gebruik aan werden aangebracht.

2. DESCRIPTION DE LA HAVEUSE PERRIER

21. Générale

La haveuse rouilleuse « Perrier » est constituée principalement d'un wagonnet à corps basculant supportant (fig. 1) :

1°) la lame-bras,
2°) les moteurs électriques d'entraînement des différents mouvements,
3°) l'appareillage électrique de commande et de protection.

Ce wagonnet se déplace sur des rails à l'aide d'un ensemble pignon-crémaillère.

Le basculement du wagonnet permet au bras de passer de la position horizontale de havage à la position verticale de rouillage.

2. BESCHRIJVING VAN DE SNIJMACHINE PERRIER

21. Algemeen

De snijmachine-kerfmachine « Perrier » bestaat hoofdzakelijk uit een kipwagen die het volgende draagt (fig. 1) :

1°) de snijarm,
2°) de elektrische motoren voor het aandrijven van de verschillende bewegingen,
3°) de elektrische bedienings- en veiligheidsapparatuur.

Deze wagen verplaatst zich over sporen door middel van een stel bestaande uit een rondsel en een heugelstang.

Dank zij het kippen van de wagen kan de arm overgaan van de horizontale snijpositie naar de vertikale kerfpositie.



Fig. 1.

22. Détaillée

Passons à la description détaillée et en premier lieu au bras et à la chaîne porte-outils, éléments de base de cette machine.

La lame-bras, de forme allongée, est en acier mi-dur d'épaisseur 25 mm, prise dans la masse avec évidements pour l'alléger.

Elle sert de support et de guide au déplacement de la chaîne de sciage. Des bandes guides chaînes interchangeables en acier traité sont fixées latéralement, tandis que des sangles d'usure facilement interchangeables sont situées dans le fond de la gorge.

Le bras est fixé à la pièce d'attaque principale à l'aide d'une mortaise et de 4 boulons 6 pans.

Une vis permet le réglage de la tension de la chaîne.

22. Gedetailleerd

Wij geven nu een gedetailleerde beschrijving en wel op de eerste plaats van de arm en de ketting met de beitels, de basiselementen van deze machine.

De snijarm heeft een langwerpige vorm en is gemaakt uit halfzacht staal met een dikte van 25 mm gesneden uit één stuk, met uitsparingen die het gewicht moeten verminderen.

Zijn taak is de zaagketting te dragen en te geleiden bij haar verplaatsing. Opzij staan vervangbare kettinggeleiders in speciaal staal, terwijl gemakkelijk vervangbare slijtagebanden aangebracht zijn in de bodem van de groef.

De arm wordt aan de aandrijfkop bevestigd door middel van een keep en 4 zesvlakbouten.

De spanning van de ketting kan met behulp van een vijs geregeld worden.

La pièce d'attaque est orientable pour braquer le bras en début et fin de coupe.

Le bras se termine du côté avant par une roue folle servant de station retour à la chaîne (fig. 2).

La chaîne brevetée en acier dur traité est constituée de 2 types de maillons (fig. 3) :

a) les maillons porte-outils
b) les maillons intermédiaires reliant 2 maillons porte-outils successifs.



Fig. 2.

Pour un sciage utile de 1,60 m, la chaîne se compose de 80 maillons (40 porte-outils et 40 intermédiaires), pour le sciage de 2,60 m, elle en a 120 (60 de chaque sorte).

Tous les maillons porteurs sont garnis à la partie inférieure, qui glisse dans le bras, de 2 plaques d'usure en carbure de tungstène. Du côté supérieur, ils possèdent un rainurage tronconique pour le coincement des outils. Le pas des maillons porteurs est de 12 cm. Les pivots amovibles en nickel chrome reliant les maillons ente eux traversent des douilles d'usure aisément remplaçables. La vitesse de la chaîne est de 0,60 m/s.

Les outils indépendants de la chaîne sont constitués (fig. 4) :

a) d'une plate-forme de 85 mm de longueur, 25 mm de largeur et 12 mm de hauteur, qui s'emboîte par coincement conique sur le maillon porte outil,
b) d'une plaque en carbure de tungstène,
c) d'une butée arrière,
d) d'une plaquette de contrebutage et de limitation de pénétration à l'avant.

Le trait de havage obtenu avec la chaîne est de 33/35 mm et est réalisé à l'aide de 4 outils dont les largeurs de travail sont respectivement de 8, 17, 26 et 33 mm.

De aandrijfkop is draaibaar zodat de arm kan zwenken bij het begin en het einde van de loop.

Aan de voorkant eindigt de arm in een losse schijf die het omkeerstation van de ketting vormt (fig. 2).

De gebreveteerde *ketting* in speciaal hard staal bestaat uit twee typen van schakels (fig. 3).

a) de schakels die een beitel dragen;
b) de tussengelegen schakels die twee beitelhouders verbinden.



Fig. 3.

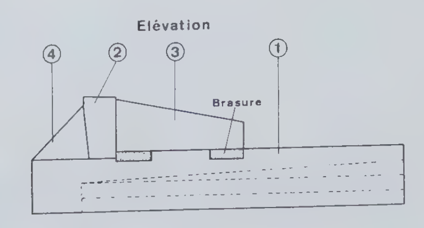
Voor een nuttige zaagsnede van 1,60 m bestaat de ketting uit 80 schakels (40 beitelhouders en 40 tussenliggende); voor een zaagdiepte van 2,60 m bestaat ze uit 120 schakels (60 van elke soort).

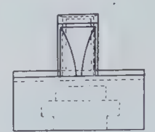
Al de beitelhouders zijn aan de onderkant die in de arm glijdt, voorzien van twee slijtplaatjes in wolframcarbide. Aan de bovenkant vertonen ze een konische inkeping waarin het werktuig wordt vastgeklemd. De beitelhouders hebben een pas van 12 cm. De wegneembare pennen in nikkel chroom die de schakels met elkaar verbinden lopen door slijtagehulzen die gemakkelijk kunnen vervangen worden. De ketting heeft een snelheid van 0,60 m/s.

De beitels zijn onafhankelijk van de ketting en samengesteld uit (fig. 4) :

a) een platform met een lengte van 85 mm, een breedte van 25 mm en een dikte van 12 mm, dat zich konisch inklemt op de beitelhouder,
b) een plaat in wolframcarbide.
c) een eindstuit,
d) een plaat die tegenstuit vormt en de indringing naar voor begrenst.

De snede die met de ketting bekomen wordt meet 33-35 mm en wordt gemaakt door 4 werktuigen die respectievelijk werken op een breedte van 8, 17, 26 en 33 mm.





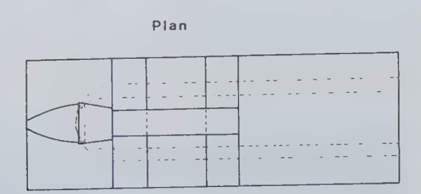


Fig. 4.

Outil pour haveuse.
Beitel voor snijmachine

Elévation = opstand
Profil = zijzicht
Plan = planzicht

Une chaîne de 40 outils comporte donc 10 groupes de 4 outils, la disposition des carbures de tungstène est représentée à la figure 5.

Un décalage vertical de 5/10 de mm est observé entre les divers outils successifs (fig. 6).

Een ketting met 40 beitels bevat dus tien groepen van 4 beitels; de opstelling van het wolframcarbide wordt gegeven door figuur 5 :

Vertikaal is er een trap van 5/10 mm tussen de verschillende opeenvolgende beitels (fig. 6).

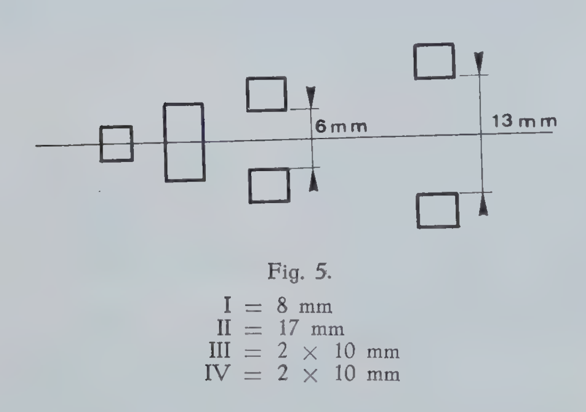


Fig. 5.

I = 8 mm
II = 17 mm
III = 2 × 10 mm
IV = 2 × 10 mm

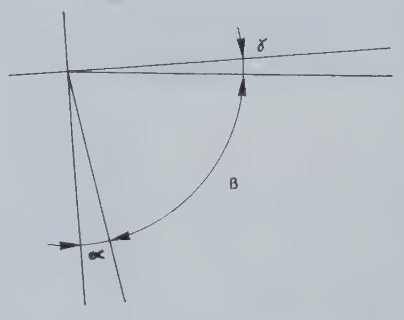


Fig. 6.

Angle de coupe α = snijhoek α : 10°
Dépouille γ = vrijhoek γ : 5°
Angle de taillant β = beitelhoek β : 75°

L'entraînement de la chaîne se fait par un pignon à dents amovibles (fig. 7) sans moyeu protubérant, permettant donc d'approcher à faible distance des parois verticales.

De aandrijving van de ketting gebeurt door middel van een tandwiel met verwisselbare tanden (fig. 7), zonder uitspringende naaf, zodat men tot op korte afstand van de wanden kan komen.

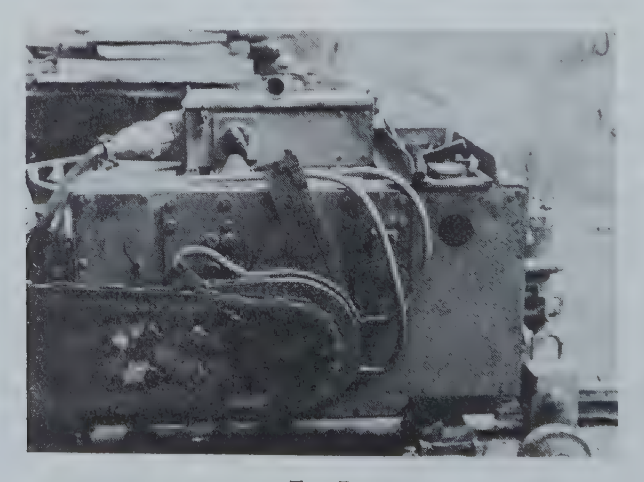


Fig. 7.

Le déplacement de la haveuse s'effectue sur rails constitués de cornières de 80 x 80 mm entretoisées et garnies intérieurement d'une crémaillère rapportée sur laquelle engrène le pignon de commande de déplacement dont l'axe reste vertical quel que soit le travail de la haveuse (havage ou rouillage).

Les tronçons de voie ont une longueur de 3 m et sont boulonnés les uns aux autres.

Une pompe à huile injecte en permanence de l'huile dans le roulement de bout de bras et le surplus lubrifie le chemin de glissement de la chaîne.

Mécanique de commande des différents éléments

a) Braquage du bras.
Il est obtenu par vis et roue à vis en acier traité et limiteur de couple à friction.

b) Chaîne.
Entraînement par réducteur à engrenages et limiteur de couple à friction.

c) Avance du chariot.
Par boîte à 3 vitesses soit :

2 de travail (rapport 1 à 2),
1 d'avance et retour rapide.

Les vitesses de travail donnent une avance de 1,65 m/h ou 3,22 m/h.

Le retour rapide 38 m/h.

La même boîte de vitesses peut commander le braquage du bras.

Ces différents mouvements sont commandés par des moteurs de :

Puissance des moteurs électriques.

Pour la chaîne : 20 cv au départ, porté ensuite à 25 cv.

Pour avance et braquage : 1 cv.

Toutes ces commandes sont doublées par mouvements manuels utilisés en cas de nécessité.

Pour la pompe à huile : moteur 1/3 cv.

L'appareillage électrique de commande et protection comporte :

a) contacteur pour moteur 25 cv.
b) contacteur pour moteur 1 cv.
c) ampèremètre
d) compteur horaire
e) éventuellement limiteur d'avance en fonction de l'ampérage du moteur principal.

3. RESULTATS OBTENUS DANS LE MARBRE ROUGE

Après avoir été utilisée dans 3 carrières différentes, tant en havage qu'en rouillage, la haveuse

De snijmachine verplaatst zich over sporen bestaande uit hoekijzers 80 × 80 mm, die onderling verbonden zijn en van binnen voorzien zijn van een aangelaste heugel die ingrijpt met het rondsel dat de verplaatsing bedient; dit rondsel staat altijd vertikaal, eender welk werk de snijmachine verricht (snijden of kerven). De stukken spoor hebben een lengte van 3 m en worden aan elkaar bevestigd met bouten.

Een oliepomp injecteert doorlopend olie in het kogellager op het einde van de arm; het overschot smeert de glijbaan van de ketting.

Bedieningsmechanisme van de verschillende elementen.

a) *Het zwenken van de arm.*
Hiervoor is er een worm en een wormwiel in speciaal staal en een beperkende wrijvingskoppeling.

b) *Ketting.*
Aangedreven door tandradreductor en beperkende wrijvingskoppeling.

c) *Het vooruitgaan van de wagen.*
Door middel van een tandradkast met drie snelheden, namelijk :
2 voor het werk (verhouding 1 tot 2),
1 voor snelle beweging in beide richtingen.

De werksnelheden geven een vooruitgangssnelheid van 1,65 m/u of 3,22 m/u; de snelle beweging geschiedt tegen 38 m/u.

Met dezelfde tandradkast kan het zwenken van de arm uitgevoerd worden.

Al deze bewegingen worden veroorzaakt door de volgende motoren :

Vermogen van de elektrische motoren.

Voor de ketting : 20 pk bij het starten, later opgevoerd tot 25 pk.

Voor de vooruitgang en het zwenken : 1 pk.

Al deze bewegingen kunnen in geval van nood ook met de hand uitgevoerd worden.

Voor de oliepomp : motor van 1/3 pk.

De elektrische bedienings- en veiligheidsapparatuur bestaat uit :

a) contactor voor motor 25 pk,
b) contactor voor motor 1 pk,
c) ampéremeter,
d) uurteller,
e) eventueel snelheidsbeperker reagerend op de ampérage van de hoofdmotor.

3. IN HET RODE MARMER BEKOMEN RESULTATEN

De machine werd reeds in drie verschillende groeven gebruikt, zowel als snijmachine als kerf-

fonctionne depuis août 1967 à la Carrière St-Remy de Rochefort, principalement en rouillage, la coupe horizontale d'isolement étant faite, comme dit au début, au marteau-perforateur. Ceci permet une meilleure utilisation de la machine qui, lorsqu'elle a terminé un niveau, peut directement être remise en service au niveau inférieur déjà largement dégagé.

Les déplacements de la machine entre 2 traits parallèles s'effectuent à l'aide d'un lift-truck de 3 t (fig. 8).

machine, en werkt nu sedert augustus 1967 in de Carrière St-Remy te Rochefort, waar ze hoofdzakelijk functioneert als kerfmachine, terwijl de horizontale afscheiding zoals reeds gezegd met de boorhamer verricht wordt. Dit geeft een betere benutting van de machine die na het beëindigen van een niveau onmiddellijk kan in bedrijf gesteld worden op een lagergelegen niveau dat reeds ruim vrijgemaakt is.

Om de machine van de ene snede naar de andere evenwijdig gelegen snede te verplaatsen gebruikt men een lift-truck van 3 t (fig. 8).



Fig. 8.

Alors qu'au début les saignées, pour atteindre la profondeur de 2,60 m, se faisaient en 2 passes, des essais effectués par M. Delince, Directeur de la Carrière, ont démontré que dans le marbre rouge la machine pouvait atteindre cette profondeur en une seule passe. La vitesse d'avancement est de 1,65 m/h, soit une production horaire de 4,3 m², manutentions non comprises.

En tenant compte de celles-ci, l'on arrive à 2,1 m²/h (surface simple). L'affûtage des outils est effectué non sur la chaîne elle-même, mais les outils préalablement démontés sont groupés par type (I, II, III, IV) sur l'affûteuse équipée de 4 plateaux magnétiques.

De cette façon, la chaîne elle-même reste sur la haveuse et on gagne le temps nécessaire au braquage (45 min).

Le temps de remplacement de 60 outils sur chaîne restant en place est de 25 min à 30 min.

Le temps de remplacement d'une chaîne par une autre est de 10 min + temps de braquage.

La haveuse fonctionne 9 heures par jour.

La production mensuelle oscille autour de 250 m².

Le personnel attaché à la haveuse comprend:
— un haveur + 1 aide
— un affûteur

Aanvankelijk maakte men twee passen om de diepte van 2,60 m te bereiken, doch dhr Delinee, Directeur van de groeve, heeft door proeven bewezen dat de machine deze diepte in het rode marmer in één pas kon bewerken. De vooruitgangssnelheid bedraagt 1,65 m/u, hetgeen een uurproduktie betekent van 4,3 m², het manipuleren niet inbegrepen.

Houdt men hiermee rekening dan komt men tot 2,1 m²/u (enkel oppervlak). Het slijpen van de beitels gebeurt niet op de ketting zelf; de beitels worden eerst afgenomen en dan gegroepeerd volgens type (I, II, III, IV) op de slijpmachine die vier magnetische platformen heeft.

Op die manier kan de ketting zelf op de snijmachine blijven en spaart men de tijd uit die nodig is om ze te doen zwenken (45°). Om 60 beitels te vervangen op de ketting die op haar plaats blijft, heeft men 25 tot 30 min nodig.

Om een ketting te vervangen door een andere heeft men 10 min nodig + de tijd om ze te laten zwenken.

De snijmachine werkt 9 uur per dag. De maandproduktie schommelt rond de 250 m². De machine wordt bediend door :
— en snijmachinist en een helper
— een slijper.

La durée d'affûtage pour un jeu de 60 outils est de 45 minutes.

Ce temps correspond à l'affûtage de l'arête supérieure du taillant et s'effectue après 10 m² de coupe.

La retouche de la face avant s'effectue 2 fois sur la vie de la plaquette carbure.

La passe de réaffûtage est de 3 à 4/10 mm.

Une plaquette peut être réaffûtée 10 à 12 fois avant remplacement, soit après 100 m² environ.

Het slijpen van een stel van 60 beitels duurt 45 minuten.

Dit komt overeen met het slijpen van de bovenkant der snede en deze bewerking moet herhaald worden om de 10 m² snede.

De voorkant van de snede wordt twee keer bijgewerkt tijdens de levensduur van een carbideplaatje.

Er wordt geslepen over een diepte van 3 tot 4 tiende mm.

Een plaatje kan 10 tot 12 keer geslepen worden vooraleer het, na zowat 100 m², vervangen wordt.

4. PRIX DE REVIENT (amortissements non compris)

Approvisionnements (outils, huile, chaîne)	65 %
Réparations	3 %
Main-d'œuvre opérateur	21 %
Affûteur	11 %
(entre 400 et 500 F/m²)	100 %

Ce prix se situe à 80 % du prix de revient du fil et à 50 % du prix de revient air comprimé.

4. KOSTPRIJS (zonder afschrijving)

Bevoorrading (beitels, olie, ketting) :	65 %
Herstellingen :	3 %
Loonkosten machinist :	21 %
Loonkosten slijper :	11 %
(van 400 tot 500 F/m²)	100 %

Deze prijs ligt rond de 80 % van de prijs met de draad en rond de 50 % van de prijs met perslucht.

5. COUT DE QUELQUES PIECES ET DUREE DE VIE

		Prix FB	Durée m²
1) Plaquettes de carbure	1	22	
	2	50	
	3, 4	30 pour 1 côté	100
2) Plate-forme non montée		190	500
Main-d'œuvre montage		125	
3) Roulement bout bras		390	(390 à 2.500 F suivant types essayés)
4) Chaîne nue 60 outils		env. 65.000	2.000
5) Pivot de chaîne		19	
6) Bague pour dito		15	
7) Sangle d'usure de fond		1.400	

5. KOSTPRIJS EN LEVENSDUUR VAN ENKELE ONDERDELEN

		Prijs BF	Levensduur m²
1) Carbideplaatje	1	22	
	2	50	
	3, 4	30 per zijde	100
2) Platform zonder montage		190	500
Loonkosten voor het monteren		125	
3) Kogelleger einde arm		390	(390 tot 2.500 BF volgens het beproefde type)
4) Ledige ketting voor 60 beitels		ong. 65.000	2.000
5) Kettingpen		19	
6) Klemband voor dito		15	
7) Slijtageband voor groefbodem		1.400	

6. INCONVENIENTS RENCONTRES EN COURS D'UTILISATION ET MODIFICATIONS APPORTEES

— Transformation de l'outil rainureur n° 1 : bec coupé + contrebutage pour limiter la casse et la profondeur de passe en zone hétérogène.
— Remplacement de la pompe à huile par une pompe à plus grande pression pour la lubrification du roulement de bout de bras + sangle.

— Placement d'un relais ampèremétrique qui arrête l'avance si l'ampèrage du moteur de la chaîne devient trop grand.
— Sécurité d'huile agissant sur la mise en route du moteur principal.

7. AVANTAGES DE LA MACHINE

Malgré un coût de départ élevé (machine seule, sans chaîne, ni outils, ni rails = 70.000 FF environ — (1966).

1°) Production horaire qui équivaut environ à 3 x la production du fil.
2°) Prix de revient intéressant.
3°) Le bloc sort d'exploitation déjà équarri, d'où suppression de main-d'œuvre de finition et vente à dimensions avec faible affranchi, faces bien planes.
4°) Facilités de déplacement et encombrement réduit.
5°) Fonctionnement en période hivernale sans problème.
6°) Travaux préparatoires pour mise en activité de la machine très réduits.

6. TIJDENS DE WERKING GEVONDEN NADELEN EN TOEGEPASTE VERBETERINGN

— Transformatie van de kerfbeitel nr 1 : afstompen van de snede en aanbrengen van een tegendruk om het breken en de indringingsdiepte in heterogeen gesteente te beperken.
— Vervanging van de oliepomp door een pomp met hogere druk voor de smering van het kogelleger aan het einde van de arm en de bodem van de groef.
— Aanbrengen van een stroomrelais dat de vooruitgang onderbreekt als de kettingmotor teveel stroom neemt.
— Olieveiligheid werkend op het starten van de hoofdmotor.

7. VOORDELEN VAN DE MACHINE

Ondanks de hoge aanschaffingskosten (de machine alleen, zonder ketting, beitels of sporen, kost ongeveer 70.000 FF — (1966).

1°) Een uurproduktie die zowat drie keer die van de draad is.
2°) Interessante kostprijs.
3°) Het ontgonnen blok komt reeds recht gezaagd te voorschijn, vandaar, geen handarbeid om het af te werken en verkoop op afmetingen met gering verlies, goed effen vlakken.
4°) Gemak van verplaatsen en geringe omvang.
5°) Geen problemen met de werking in de winterperiode.
6°) Zeer beperkte voorbereiding om de machine in bedrijf te stellen.

Essai d'une haveuse Perrier dans le petit granit

Proef met een snijmachine Perrier in klein graniet

J. BOXHO *

RESUME

L'exposé relate les essais suivis à partir du 3/7/70 par l'INIEX aux carrières Gauthier et Wincqz à Soignies, essais concernant le remplacement du fil hélicoïdal par la « rouilleuse Perrier modèle 1970 » (havage vertical). Pour la première fois, on a scié avec succès un banc de petit granit de 3,10 m, sur toute son épaisseur.

La haveuse, déjà utilisée avec succès dans le marbre belge, est utilisée ici sous une version plus puissante, possédant une régulation de l'avance, de la rotation du bras et de la vitesse de la chaîne.

D'après les essais (cfr. le tableau) :

- *Le bras de 3,30 m a scié 3 à 4 m²/h en moyenne (rapportés aux temps utiles), contre 2 m²/h prévus, et ce malgré des modifications fréquentes du travail.*
- *Le havage en 2 passes (bras de 1,60 m puis approfondissement à 3,30 m) est plus avantageux, surtout pour les longues saignées.*
- *Il semble meilleur normalement de haver en descendant.*

Les incidents de marche furent minimes : réduction occasionnelle de la profondeur de passe, difficulté d'enlever la chaîne de havage, un pic cassé.

De plus la machine a traversé sans difficulté des poches de dissolution.

SAMENVATTING

De uiteenzetting handelt over de proeven die werden gevolgd van 3.7.70 af door het NIEB in de steengroeven Wauthier et Wincqz te Soignies, betreffende het vervangen van de schroefvormige draad door de « kerfmachine Perrier Model 1970 » (vertikaal snijden). Voor de eerste keer heeft men met goed gevolg een bank klein graniet van 3,10 m gesneden over heel de hoogte.

De snijmachine die reeds met succes gebruikt werd in het Belgisch marmer, werd hier aangewend in een krachtiger uitvoering, met een regeling op de vooruitgangssnelheid, op het draaien van de arm en op de kettingsnelheid.

Volgens de proeven (zie tabel) :

- *zaagt de arm van 3,30 m gemiddeld 3 tot 4 m²/u (herleid tot de nuttige tijd), in plaats van 2 m²/u zoals voorzien, en dat ondanks herhaalde wijzigingen in de werkomstandigheden;*
- *is het snijden in twee passen (arm van 1,60 m en vervolgens afdiepen tot 3,30 m) voordelig, vooral voor lange sneden;*
- *schijnt afwaarts snijden normaal beter te zijn.*

De bedrijfsincidenten waren gering; toevallige vermindering van de snedediepte, moeilijkheden om de snijketting op te heffen, een gebroken beitel.

Bovendien heeft de machine geen moeilijkheden gehad met het doortrekken van oplossingszakken.

* Ingénieur Civil des Mines — INIEX.
« Bois du Val-Benoit », rue du Chera 4000 Liège (Belgique).

* Burgerlijk Mijningenieur — NIEB.
« Bois du Val-Benoit », rue du Chera 4000 Liège (Belgique).

En conclusion, la machine a été adoptée. Il reste à améliorer certains points mécaniques.

Tot besluit werd de machine aangenomen. Sommige mechanische verbeteringen blijven uit te voeren.

INHALTSANGABE

Der Artikel berichtet über Versuche, die Iniex vom Juli 1970 an in den Steinbrüchen von Gauthier-Wincqz in Soignies mit dem Ziel durchgeführt hat, eine Perrier-Kerbmaschine, Baumuster 1970, anstelle der bis dahin gebräuchlichen Schneidseile zur Herstellung der senkrechten Schnitte einzusetsen. Erstmalig gelang es, eine 3,10 m mächtige Schicht aus feinkörnigem Kalkstein in voller Mächtigkeit zu durchsägen.

Die Maschine arbeitet bereits mit Erfolg in belgischen Marmorvorkommen. Das in Soignies eingesetzte Modell ist stärker und hat Vorrichtungen zur Regelung des Vorschubs, der Kreisbewegung des Schrämarms und der Geschwindigkeit der Schrämkette. Eine Tabelle gibt einen Überblick über die Ergebnisse der Versuche.

- *Trotz mehrfacher Umstellungen im Betrieb sägte der 3,30 m lange Schrämarm in einer Stunde reiner Arbeitszeit im Durchschnitt nicht nur 2 m², wie erwartet, sondern 3-4 m².*
- *Vor allem bei längeren Schnitten erzielte man bessere Ergebnisse, wenn man in zwei Stufen schnitt: zunächst mit einem 1,60 m langen Arm, anschliessend Vertiefung auf 3,30 m.*
- *In der Regel empfiehlt es sich, von oben nach unten zu schneiden.*

Die Betriebsstörungen waren unbedeutend : gelegentliche Abnahme der Schnittiefe, Schwierigkeiten beim Abnehmen der Schrämkette, Bruch eines Meissels. Ausserdem hat die Maschine ohne Schwierigkeiten ausgewaschene Stellen durchfahren.

Die Maschine wurde für die weitere Arbeit eingeführt. Einige geringfügige mechanische Verbesserungen sind noch erforderlich.

SUMMARY

The report gives an account of the tests carried out as from 3/7/70 by Iniex at the Gauthier and Wincqz quarries at Soignies; these tests concerned the replacement of the helicoidal wire by the « Perrier cutter, model 1970 » (vertical cutting). For the first time, a bed of lime-stone of 3.10 m was successfully cut through its entire thickness.

The cutter has already been successfully employed for Belgian marble, and in the present instance is used in a more powerful version, equipped with a regulator for the advance, for the rotating jib and for the speed of the chain.

It appears from the tests (cf. the table) that :

- *the 3.30 m jib sheared an average of 3 to 4 m²/H (calculated according to the effective working time), as against the 2 m²/H planned, and this result was achieved despite frequent modifications in the work.*
- *Cutting in two stages (1.60 m jib then a further cutting to 3.30 m) is more advantageous, especially for long cuts.*
- *It seems usually better to cut downwards.*

Working incidents were slight : an occasional reduction in the depth of the cut, difficulty in removing the chain, a broken pick.

Furthermore, the machine easily passed through dissolution pot-holes.

In conclusion, the machine was adopted. Certain mechanical details still have to be improved.

O. POSITION DU PROBLEME

Les bancs de petit granit susceptibles de fournir des pierres ornementales ont été durant longtemps et sont encore découpés par de longs traits verticaux au moyen du fil hélicoïdal.

Cette méthode est devenue onéreuse, étant donné l'incidence des salaires. On a donc recherché un moyen d'effectuer ces découpes verticales plus rapidement et à un prix de revient intéressant. En outre, toute augmentation de la vitesse du sciage apporte une augmentation de la production.

0. OMSCHRIJVING VAN HET PROBLEEM

De banken in klein graniet die siersteen kunnen opleveren werden gedurende lange tijd en worden nu nog verdeeld door middel van lange vertikale sneden die aangebracht worden met behulp van een schroefvormig gewonden draad.

Met de weerslag van de lonen is dit een kostelijke methode geworden. Men heeft daarom gezocht naar een middel om deze vertikale sneden vlugger en tegen een lagere prijs aan te brengen. Bovendien betekent elke vermeerdering van de zaagsnelheid een verhoging van de produktie.

Or la haveuse Perrier, que nous appellerons « classique », travaillait déjà avec succès dans le marbre : M. Mingels vient de nous en donner les résultats.

Par contre, cette machine n'avait pas rencontré le même succès dans le petit granit à Sprimont, roche plus dure et assez abrasive.

Dans le cas particulier des carrières Gauthier & Wincqz, l'obtention d'un bon rendement dans le beau banc, d'une épaisseur moyenne de 3,10 m, oblige à découper ce banc sur toute son épaisseur. Jamais jusqu'alors on n'avait havé une roche aussi dure en une seule passe et sur cette épaisseur (3,10 m en moyenne, rappelons-le).

La firme Perrier a proposé à ce moment une nouvelle version de sa machine, dénommée « rouilleuse Perrier modèle 1970 » (en abrégé R-70-VH) (fig. 1).

Nous en préciserons ici les points essentiels :

1°) elle est un peu plus puissante (25 cv au lieu de 20);

Welnu, de snijmachine Perrier, die wij « klassiek » zullen noemen, werd reeds met goed gevolg gebruikt in marmer; dhr Mingels heeft ons zo juist de resultaten meegedeeld.

Daarentegen had deze machine niet zo goed gewerkt in het klein graniet van Sprimont, dat een harder en vrij abrasief gesteente is.

In het bijzonder geval van de steengroeven Gauthier & Wincqz, was men verplicht, om in de goede bank, met een gemiddelde dikte van 3,10 m, een goed rendement te bekomen, deze bank door te snijden over heel de dikte. Nooit voorheen had men een zo hard gesteente in één enkele snede en over dergelijke dikte doorgesneden (wij herhalen het: gemiddeld 3,10 m).

Op dat ogenblik stelde de firma Perrier een nieuwe versie van haar machine voor, genaamd «kerfmachine Perrier model 1970 » (afgekort R-70-VH) (fig. 1).

Wij geven er hier de voornaamste kenmerken van :

1°) ze heeft een iets hoger vermogen (25 pk in plaats van 20);



Fig. 1.

Vue d'ensemble de la « rouilleuse Perrier modèle 1.970 » (R-70-V H).

Overzicht van de « kerfmachine Perrier model 1.970 » (R-70-V H).

2°) elle possède un variateur-réducteur hydraulique permettant une régulation de l'avance ou de la rotation du bras de havage, suivant le cas; le variateur permet de s'approcher davantage de la puissance maximale du moteur, car les variations qu'il imprime à la vitesse d'avancement sont très rapides;
3°) elle est munie, en vue d'essais, d'un variateur mécanique pour la vitesse linéaire de la chaîne, permettant au cours d'essais de choisir cette vitesse linéaire entre 0,18 et 1,07 m/s.

Plusieurs raisons ont fait choisir cette haveuse pour l'essai en petit granit :

1°) les modifications mécaniques et la possibilité de modifier la vitesse de la chaîne inspiraient confiance;
2°) la chaîne et ses outils sont, dans leur forme et leur nature, le fruit d'une étude et d'une expérience déjà longues dans le domaine du découpage des roches cohérentes;

3°) la machine a un poids acceptable; or le poids était un facteur décisif pour l'utilisation dans la carrière;
4°) la machine avait un prix acceptable;
5°) enfin, le constructeur acceptait de conditionner l'achat aux résultats d'un essai de 3 semaines dans la carrière.

L'INIEX, en collaboration avec le constructeur et avec le personnel de la carrière, a suivi le déroulement technique de cet essai qui a débuté le 3 juillet 1970.

1. CARACTERISTIQUES DE LA HAVEUSE PERRIER « MODELE 70 »

Avant d'exposer les résultats, il est opportun de faire ressortir en quoi le «modèle 70» diffère du modèle précédemment décrit. La figure 2 nous montre l'ensemble moteur et les commandes. En partant du poste de commande à droite, nous décrirons les éléments à mesure des commandes effectuées par le préposé. La lampe-témoin rouge signale que les contacteurs des 3 moteurs sont sous tension. Ces moteurs sont :

— le moteur d'entraînement de la chaîne (25 cv),
— le moteur du groupe moto-pompe hydraulique,

— le moteur de la pompe à engrenages lubrifiant le système.

On enfonce alors le bouton-poussoir qui commande le système de lubrification. Si ce dernier démarre, la lampe-témoin orange s'allume.

2°) ze heeft een hydraulische reductor-variator waarmee de vooruitgang of de draaisnelheid van de snijarm naar believen kan geregeld worden; dank zij de variator blijft men dichter bij het maximaal vermogen van de motor, want hij past de vooruitgangssnelheid zeer vlug aan;
3°) met het oog op de proeven is ze uitgerust met een mechnische variator voor de lineaire snelheid van de ketting, waarmee deze snelheid tijdens de proeven kan gekozen worden tussen 0,18 en 1,07 m/s;

Er waren verschillende redenen om deze snijmachine te verkiezen voor de proef in het klein graniet :

1°) de wijzigingen op mechanisch gebied en de mogelijkheid om de snelheid van de ketting te veranderen boezemden vertrouwen in;
2°) de ketting en de snijwerktuigen zijn, wat hun vorm en hun aard betreft, het produkt van langdurige studie en ondervinding op het gebied van het snijden van samenhangend gesteente;
3°) het gewicht van de machine is aannemelijk; het gewicht was een beslissende factor in deze groeve;
4°) de prijs van de machine was aannemelijk;
5°) tenslotte was de bouwer akkoord om de verkoop te koppelen aan de resultaten van een proef van 3 weken in de groeve.

Het NIEB heeft in samenwerking met de bouwer en het personeel van de groeve het technisch verloop van de proeven, die op 3 juli 1970 begonnen, gevolgd.

1. KARAKTERISTIEKEN VAN DE SNIJMACHINE PERRIER « MODEL 70 »

Vooraleer over de resultaten te spreken, is het goed te laten uitkomen waarin het « model 70 » verschilt van het vroeger beschreven model. Figuur 2 geeft het motorblok en de bedieningen. Vertrekkend van de rechts gelegen bedieningspost beschrijven wij de elementen in de volgorde van de maneuvers die door de verantwoordelijke worden uitgevoerd. De rode testlamp duidt aan dat de contactoren van de drie motoren onder spanning staan; deze motoren zijn de volgende :
— de aandrijfmotor van de ketting (25 pk),
— de motor van de hydraulische motor-pompgroep,
— de motor van de tandradpomp die het systeem smeert.

Vervolgens drukt men de knop in die het smeersysteem in werking stelt; wanneer dit in gang schiet, begint de oranje testlamp te branden.

On actionne alors le démarrage étoile-triangle du moteur de la chaîne. Ceci n'est possible que si le système de lubrification fonctionne déjà. Un ampéremètre permet de contrôler la consommation du moteur.

Le choix de la vitesse linéaire de la chaîne se fait par le variateur mécanique Texrop (poulie extensible à courroie). Cette commande est fixée sur l'arbre du moteur d'abattage, du côté non visible sur la photo. Elle ne peut être actionnée à l'arrêt. Il reste à démarrer le groupe du variateur hydraulique (bouton-poussoir), après avoir poussé le levier de la position arrêt A à la position T (pour le havage) ou M (pour les translations à vide) suivant le cas. On remarque 2 leviers, un par sens de marche, le système étant chaque fois irréversible.

La vitesse de halage est choisie en manipulant le bouton moleté gradué en unités spéciales, convertibles en m/h par lecture d'un tableau de conversion.

Vervolgens bedient men de ster-driehoek schakeling van de kettingmotor. Dit is enkel mogelijk wanneer het smeersysteem reeds in werking is. Met een ampéremeter wordt het verbruik van de motor gecontroleerd.

De lineaire snelheid van de ketting wordt gekozen met de mechanische variator Texrop (uitzetbare schijf met riem). Deze bediening zit op de as van de snijmotor, aan de zijde die niet zichtbaar is op de foto. Bij stilstand kan men ze niet bedienen. Nu moet nog de groep van de hydraulische variator in gang gezet worden (drukknop), hetgeen men doet nadat men naargelang van het geval de hefboom van de stand A « stilstand » heeft overgebracht in de stand T (snijden) of M (verplaatsing leeg). Men ziet twee hefbomen, een voor elke bewegingsrichting, gezien het systeem niet omkeerbaar is.

De snijsnelheid wordt gekozen met behulp van een getande knop die speciale eenheden draagt; deze kunnen omgezet worden in m/u met behulp van een omzettabel.

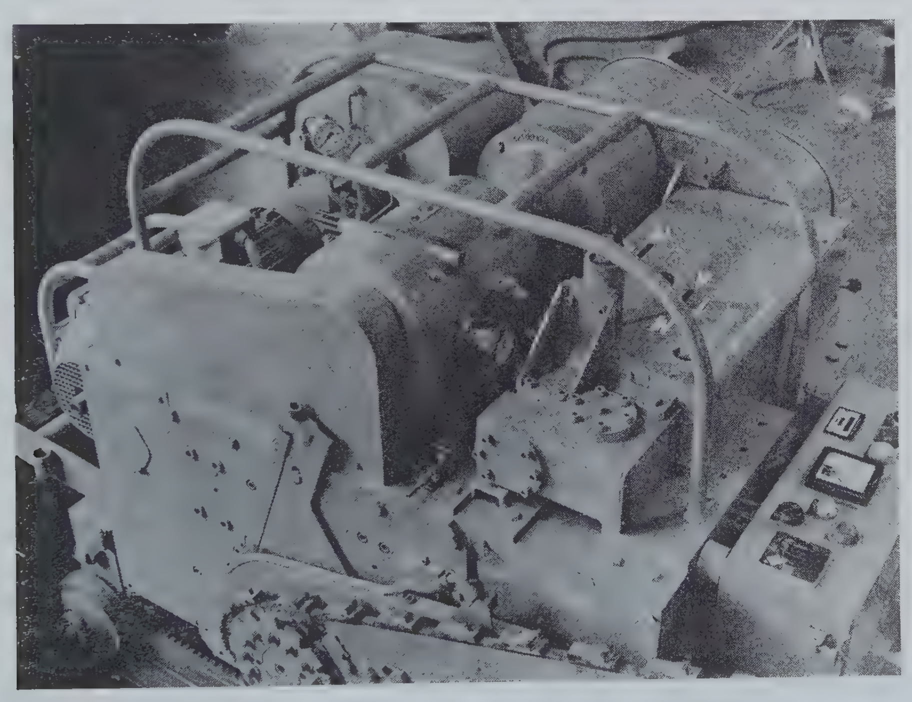


Fig. 2.
Ensemble moteur et poste de commande de la haveuse.
Aandrijfblok en bedieningspost van de snijmachine.

Divers dispositifs de sécurité équipent la haveuse :

1°) *Protection du mécanisme d'abattage.*

Elle est double:

a) il existe un limiteur à friction de l'effort sur la chaîne;
b) si l'ampérage du moteur d'abattage dépasse une certaine valeur, le moteur électrique du

De snijmachine heeft verschillende veiligheidsapparaten :

1°) *Bescherming van het winmechanisme.*

Hier is een dubbele bescherming :

a) er is een wrijvingskoppeling voor beperking van de kracht op de ketting;
b) wanneer de stroomsterkte van de winmotor boven een bepaalde waarde stijgt, wordt de

groupe hydraulique commandant la translation ou la rotation du bras déclenche.

2°) *Protection du système de halage.*

Elle comporte :

a) un limiteur à friction,
b) une sécurité côté hydraulique, si la pression d'huile dépasse une limite supérieure,
c) une sécurité côté électrique, asservie à l'abattage; nous en avons parlé plus haut.

3°) *Protection du système de rotation du bras.*

Elle comporte les mêmes sécurités électrique et hydraulique que le système de halage.

elektrische motor van de hydraulische groep die de verplaatsing of het draaien van de arm bedient uitgeschakeld.

2°) *Bescherming van het hijssysteem.*

Deze bestaat uit:

a) een wrijvingskoppeling;
b) een veiligheid op het hydraulisch systeem, wanneer de oliedruk over een bovenste grens gaat;
c) een veiligheid op het elektrisch systeem, verbonden met het winnen; daarover hebben wij reeds gesproken.

3°) *Bescherming van het draaimechanisme van de arm.*

Deze bevat dezelfde elektrische en hydraulische veiligheden als het hijssysteem.

2. LES ESSAIS

21. Conditions des essais

La pente des bancs était de 17 à 22 % environ. La pente suivant raillage, donc suivant la translation, atteignait 14 % environ.

Le bras en position de havage a un angle de 25° par rapport à la normale au banc vers l'aval, dans le plan de la saignée. Cette position correspond à une profondeur théorique de 3 m pour la saignée.

Les bras utilisés sont respectivement de 1,60 m utile et de 3,30 m utiles. La chaîne du bras de

2. DE PROEVEN

21. Omstandigheden van de proeven

De banken hadden een helling van zowat 17 tot 22 %; volgens de sporen, dit wil zeggen de verplaatsing, was de helling ongeveer 14 %.

In snijpositie heeft de arm een hoek van 25° ten opzichte van de normale op de bank, afwaarts, in het vlak van de snede. Deze positie komt overeen met een theoretische diepte van de snede van 3 m.

Men gebruikt armen met een respectieve nuttige lengte van 1,60 m en van 3,30 m. De ketting

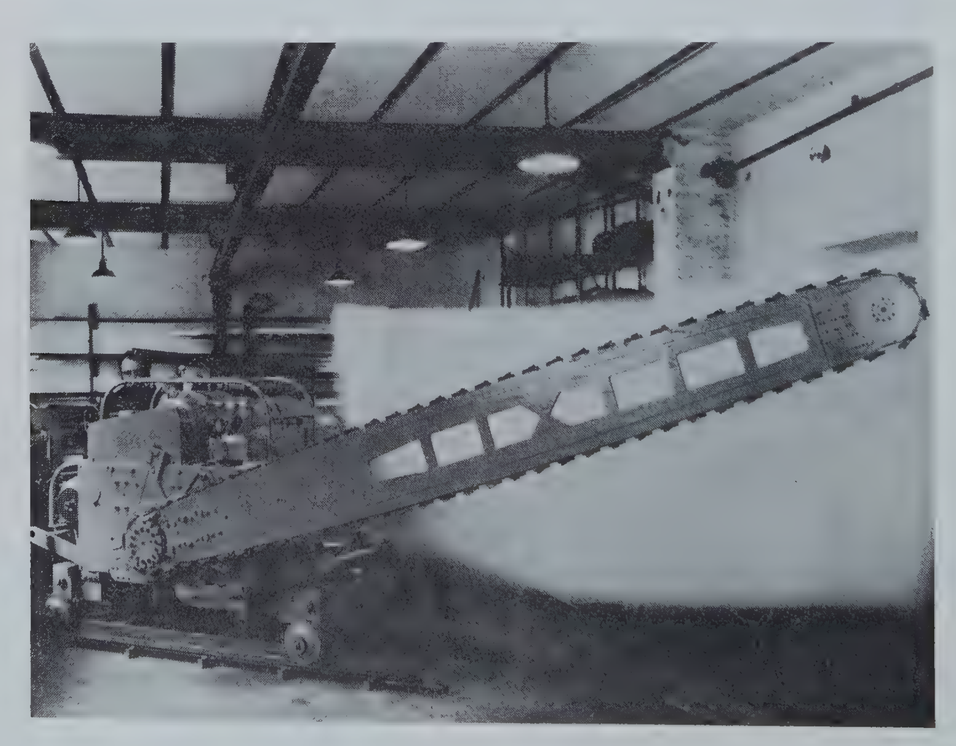


Fig. 3.
Vue latérale de la haveuse équipée du bras de 3,30 m.
Zijzicht van de snijmachine met de arm 3,30 m.

1,60 m est équipée de 10 jeux de 4 outils. L'écart entre outils est de 12 cm. La chaîne du bras de 3,30 m comporte 10 jeux de 6 outils et 2 jeux de 5 outils (où le numéro 3 manque), soit 70 outils écartés de 12 cm. La vitesse linéaire de la chaîne a été maintenue à 0,51 m/s, après divers tâtonnements. La largeur des saignées est de 33 à 35 mm (fig. 3).

22. Résultats d'essai

Le tableau donne les durées des opérations utiles, et les surfaces sciées, sur la foi des chronométrages et des mesures effectuées.

La réalisation d'une saignée verticale comporte les phases successives suivantes :

1°) Pose des rails et placement de la machine sur les rails.

2°) Rotation du bras et entaille progressive du massif, jusqu'à ce que le bras ait atteint sa position finale. Cette opération est dénommée « rotation du bras » sur le tableau.

3°) Creusement proprement dit de la saignée, sur la longueur choisie entre 20 et 25 m. Cette opération est désignée sur le tableau par « translation ».

Les résultats portés sur ce tableau appellent de nombreux commentaires:

1°) Disons d'emblée que les rendements obtenus au cours de l'essai ont été des plus encourageants. Le bras de 3,30 m a scié 3 à 4 m^2 par heure, y compris la période de rotation du bras. Or, en se basant sur les résultats des carrières de marbre et compte tenu des duretés respectives, on prévoyait 2 m^2/heure.

2°) On ne peut pas dire que ces rendements reflètent les performances de la haveuse. Car, si elle était surveillée par des techniciens de la firme constructrice, les conditions de travail étaient fréquemment modifiées au cours du temps.

3°) En outre, ce qui importe en fin de compte, ce ne sont pas les rendements horaires du sciage établis à partir des temps de havage proprement dits, mais bien le nombre de m^2 sciés par jour, qui dépend du taux d'utilisation de la haveuse.

Et là les essais sont nettement en dessous des possibilités, car l'exécution des diverses opérations auxiliaires a pris forcément trop de temps, le personnel devant s'initier et le matériel devant s'adapter à ces opérations. Citons-les :

van de arm van 1,60 m draagt 10 stellen met elk 4 beitels. Deze staan op een afstand van 12 cm. De ketting van de arm van 3,30 m draagt 10 stellen met elk 6 beitels en 2 stellen met 5 beitels (waarbij nr 3 ontbreekt), hetzij 70 beitels op een afstand van 12 cm. Na verschillende pogingen werd de lineaire snelheid van de ketting vastgesteld op 0,51 m/s. De breedte van de snede is 33 tot 35 mm (fig. 3).

22. De resultaten van de proeven

De tabel geeft de duur van de effectieve operaties en de gezaagde oppervlakten, gebaseerd op de uitgevoerde tijdopnamen en metingen.

Een vertikale snede vergt opeenvolgend de volgende fazen:

1°) Het plaatsen van de sporen en van de machine op de sporen.

2°) Het draaien van de arm en het geleidelijk insnijden in het massief, totdat de arm zijn eindstand bereikt heeft. Op de tabel heet deze faze « het draaien van de arm ».

3°) Het eigenlijk aanbrengen van de snede, over de gekozen lengte die gaat van 20 tot 25 m. Op de tabel heet deze bewerking « translatie ».

De resultaten vermeld op de tabel vergen heel wat verklaringen :

1°) In het algemeen zeggen we dat de tijdens de proeven bekomen resultaten zeer bemoedigend zijn geweest. De arm van 3,30 m heeft 3 tot 4 m^2 per uur gesneden, het draaien inbegrepen. Welnu, op grond van de resultaten bekomen in het marmer, en rekening houdend met het verschil in hardheid, had men gerekend op 2 m^2/uur.

2°) Men kan niet zeggen dat deze rendementen de werkelijke mogelijkheden van de machine weergeven; weliswaar werd ze gevolgd door technici van de firma, maar de werkomstandigheden werden in de loop van de tijd dikwijls gewijzigd.

3°) Wat bovendien tenslotte telt is niet het uurrendement bij het zagen, berekend op de tijd dat er werkelijk gezaagd wordt, maar het aantal m^2 dat per dag wordt gezaagd, hetgeen afhangt van de benuttingsgraad van de machine.

En in dat opzicht liggen de proeven merkelijk onder de mogelijkheden, omdat het uitvoeren van de verschillende bijkomende bewerkingen noodzakelijkerwijze veel tijd heeft in beslag genomen, vermits het personeel aan de machine moest wennen en het materieel aan deze

Résultats d'essai — Haveuse Perrier « modèle 70 »
Proefresultaten — Snijmachine Perrier « Model 70 »

Bras de 1,60 m Arm van 1,60 m						Bras de 3,30 m Arm van 3.30 m						Bras de 1,60 m + bras de 3,30 m Arm van 1,60 m en arm van 3,30 m	
Rotation Draaiing		Translation Translatie		Total Totaal		Rotation Draaiing		Translation Translatie		Total Totaal		Total Totaal	
m^2 durée duur	Rendt m^2/h	m^2 durée duur	Rendt m^2/h	m^2 durée duur	Rendt m^2/h	m^2 durée duur	Rendt m^2/h	m^2 durée duur	Rendt m^2/h	m^2 durée duur	Rendt m^2/h	m^2 durée duur	Rendt m^2/h
1,70 m^2 en 42'	2,43	4,40 m^2 en 50'	5,30 (max. 7,25)	6,10 m^2 en 1 h 32'	4								
						2 h 11'				10,20 m^2 en 2 h 51'	3,70		
						4,50 m^2 en 1 h 40'	2,70	7,50 m^2 en 2 h 30'	3	12 m^2 en 4 h 10'	2,88		
								11,10 m^2 en 2 h 40'	4,15				
								9,45 m^2 en 2 h 15'	4,20				
								15,16 m^2 en 4 h 45'	3,19				
				6,18 m^2 en 54'	7					8,26 m^2 en 1 h 42'	4,87	14,44 m^2 en 2 h 36' (3 h 36')	5,50 (4)

— le placement ou le changement d'un bras sur le corps de haveuse,
— le remplacement de la chaîne,
— le déplacement des rails-supports de la haveuse, leur calage et leur mise à niveau,
— le déplacement correspondant de la haveuse à partir de la saignée faite vers celle à faire.

4°) Au cours d'un essai, au lieu de scier directement à la profondeur de 3 m, nous avons travaillé en deux passes : une première passe avec bras de 1,60 m utile, travaillant à la profondeur de 1,27 m à cause de l'inclinaison; retour de la haveuse au point de départ; puis passe d'approfondissement à 3 m, donc sur 1,70 m, avec bras de 3,30 m utiles. Nous avons pu en tirer certains enseignements :

a) Les vibrations de la machine s'en trouvent fort amorties.

b) Le rendement de ces sciages combinés s'avère le plus élevé des rendements relevés (5,5 m^2/heure), pour deux raisons :
— Le rendement des deux sciages composants est élevé. Celui du bras de 1,60 m l'est naturellement. Quant au long bras, il est favorisé par le fait qu'il n'a plus que 1,70 m de hauteur à découper.

— La deuxième raison est que l'on a gagné du temps sur les rotations : elles ont duré de l'ordre de 1 h 15 minutes pour les deux bras, contre respectivement 2 h 11 min et 1 h 40 min pour l'enfoncement direct du bras de 3,30 m au cours de deux tentatives précédentes.

c) On remarque sur le tableau que le rendement tombe fortement (de 5,50 à 4 m^2/h), si l'on tient compte du retour de la haveuse au point de départ et du changement de bras, qui ont duré 1 h. Ces travaux non productifs ont influencé fortement la durée de l'essai, parce que celui-ci a eu lieu sur une courte longueur de front (environ 5 m). La méthode du sciage en deux passes s'appliquera d'autant mieux à de longues saignées où la durée des travaux non productifs a moins d'importance dans l'ensemble. Elle pourrait être améliorée en élargissant un peu la première saignée, pour éviter que localement la seconde passe ne doive à nouveau scier dans la zone de la première passe.

bewerkingen moest worden aangepast; wij sommen ze hier op :
— het plaatsen of veranderen van een arm op de snijmachine,
— het vervangen van de ketting,
— het verplaatsen, vastleggen en op niveau leggen van de sporen der snijmachine,
— het daaropvolgend verplaatsen van de snijmachine van een afgewerkte snede naar de volgende.

4°) Tijdens één proef hebben wij, in plaats van onmiddellijk 3 m diepte te nemen, in twee passen gewerkt : een eerste pas met een arm van 1,60 m nuttige lengte, die wegens de helling een diepte bereikte van 1,27 m; het terugbrengen van de machine naar het vertrekpunt; nadien een afdiepingspas met de arm van 3,30 m nuttige lengte. Wij hebben uit deze proef bepaalde inlichtingen bekomen :

a) het trillen van de machine wordt er sterk door verminderd;

b) het rendement bij deze zaagcombinatie blijkt het hoogste van wat er opgemeten werd (5,5 m^2/u) en wel om 2 redenen :
— De twee zaagbewerkingen hebben elk een hoog rendement. Voor de arm van 1,60 m is dit vanzelfsprekend. Wat de lange arm betreft, deze heeft het gemakkelijk vermits er slechts 1,70 m meer te snijden blijft.
— De tweede reden is dat men tijd wint bij het draaien; dit duurde zowat 1 u 15 minuten voor de twee armen, tegen respectievelijk 2 u 11 min en 1 u 40 min voor het rechtstreeks indrukken van de arm van 3,30 m tijdens de voorgaande twee proeven.

c) Men ziet op de tabel dat het rendement sterk daalt (van 5,50 tot 4 m^2/u) als men rekening houdt met de terugkeer van de snijmachine aan haar vertrekpunt en het verwisselen van de arm, dat 1 uur geduurd heeft. Deze niet produktieve bezigheden hebben een sterke invloed op de duur van de proef, omdat deze uitgevoerd werd over een korte frontlengte (zowat 5 m). De methode van het zagen in twee passen zal des te beter kunnen toegepast worden over lange sneden, waar de duur van de niet-produktieve werkzaamheden minder weerslag heeft op het geheel. Men zou de methode nog kunnen verbeteren door de eerste snede een weinig breder te maken, om te voorkomen dat de tweede op sommige punten opnieuw zou snijden in de zone van de eerste pas.

23. Incidents de marche au cours de l'essai

Ils ont été finalement minimes. On peut en signaler trois par ordre d'importance décroissante.

1°) La profondeur de passe de 3 m au départ s'est progressivement réduite durant le sciage. Le fait était peut-être attribuable au cône de serrage, bien poli car tout neuf, qui aurait eu tendance à tourner. Il peut être également imputable aux variations de niveau du banc rocheux, par rapport auquel les mesures de profondeur ont été prises. Notons qu'avec le sciage en deux fois, le relevage est beaucoup moindre, voire négligeable. Depuis lors, la firme Perrier a prévu et installé une butée de maintien du bras. Cependant, cette butée s'est avérée gênante en cas de calage de la chaîne. Elle est très difficile, voire impossible à desserrer. Or le système de halage est irréversible. En outre, la chaîne ne peut être mue en sens inverse, car les porte-outils pourraient quitter leur fixation et provoquer de gros dégâts.

La firme étudie en ce moment un autre système de maintien du bras. Entretemps, on dégage la machine en la soulevant légèrement, opération qui ne se fait pas toujours sans inconvénients.

2°) Il a été parfois difficile d'enlever la chaîne, en vue de réaffûtage (10 min d'arrêt). Ceci s'améliorera peut-être au cours du temps, lorsque les articulations de la chaîne se seront assouplies.

3°) Une plaquette de carbure s'est débrasée de son support durant le sciage. Or un outil libéré dans la saignée pendant la coupe pourrait abîmer fortement les autres outils. Cet incident est dû à un choc violent ou à la rencontre de nodules très durs. Il est difficile à éviter, sinon par le soin apporté au brasage.

24. Autres résultats

Pour en terminer avec les essais, nous ajouterons certains renseignements qui n'ont guère de lien entre eux, mais qui semblent dignes d'intérêt.

1°) La haveuse a traversé sans difficulté des poches de dissolution remplies d'argile, de sable et de cailloux très durs (quartzite).

2°) Le havage s'est toujours effectué en descendant, les terrains ayant une pente de 17 à 22 %. L'eau chargée de débris s'écoule en aval

23. Bedrijfsincidenten van de eerste proef

Per slot van rekening gaat het om kleinigheden. We vermelden er drie in volgorde van afnemende omvang.

1°) De snedediepte van 3 m bij de aanvang verminderde geleidelijk tijdens het zagen. Dit was misschien te wijten aan de klemkegel, die nieuw was en dus goed gepolijst, en die een neiging kan gehad hebben om te draaien. Het kan ook te wijten zijn aan variaties in het peil van de rotsbank ten opzichte waarvan de metingen verricht werden. Wij noteren dat het heffen van de zaag veel minder en zelfs te verwaarlozen is wanneer in twee passen gezaagd wordt. Sedertdien heeft de firma Perrier een stuit uitgedacht en ook geplaatst om de arm onbeweeglijk te houden. Deze stuit is echter hinderlijk gebleken in het geval dat de ketting zich vastzet. Het is zeer moeilijk om niet te zeggen onmogelijk hem los te maken. Nu is het hijssysteem niet omkeerbaar. Bovendien kan de ketting niet in omgekeerde zin lopen, want de beitelhouders zouden kunnen loskomen en ernstige schade veroorzaken.

Momenteel bestudeert de firma een ander systeem om de arm ter plaatse te houden. Inmiddels maakt men de machine vrij door ze een weinig op te heffen, een operatie die niet altijd zonder moeilijkheden verloopt.

2°) Men heeft soms moeite gehad om de ketting weg te nemen voor het slijpen (10 min onderbreking). Dit zal misschien later beter gaan, wanneer de geledingen van de ketting soepeler zijn geworden.

3°) Een wolframplaatje is tijdens het snijden losgekomen van zijn draagvlak. Nu kan een snijwerktuig dat tijdens het zagen vrijkomt in de snede de andere werktuigen erg beschadigen. Dit incident is te wijten aan een hevige schok of aan de aanwezigheid van zeer harde kernen. Men kan het moeilijk voorkomen, tenzij door voldoende zorg te besteden aan het oplassen der snijmetalen.

24. Andere resultaten

Om met de proeven te eindigen voegen wij hieraan enkele inlichtingen toe, waartussen geen verder bestand bestaat, doch die de moeite van een vermelding waard zijn.

1°) De machine ging zonder moeite door oplossingszakken gevuld met klei, zand of zeer harde keien (kwartsiet).

2°) Er werd altijd neerwaarts gesneden, met een terreinhelling van 17 tot 22 %. Het met puin geladen water loopt onderkant van de snede

du trait, sur la surface même du banc, les débris étant remontés par la chaîne qui travaille à la manière d'une noria. Un essai de havage en montant a montré que les débris ont plutôt tendance à sédimenter et donc à encombrer la saignée à moins évidemment de disposer d'un dégagement, à l'aval de la saignée; les débris s'évacuent moins bien alors que le débit d'eau d'arrosage atteint 1800 litres/h, donc bien au-dessus des 200 litres/h théoriquement nécessaires. De toute manière, on étudie actuellement le pompage des débris.

3. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ces essais très encourageants ont décidé l'adoption de la haveuse en petit granit. La machine a été ensuite éprouvée dans une zone rendue plus difficile par la pente et les venues d'eau. Elle s'en est tirée beaucoup plus aisément que le fil hélicoïdal.

Quelles sont les perspectives ?

La haveuse a certainement acquis le droit de cité dans le petit granit et ses performances s'avèrent d'ores et déjà intéressantes. Mais beaucoup d'améliorations peuvent encore être apportées. *Du point de vue mécanique*, au cours de l'utilisation, il a fallu améliorer certains éléments de la machine et, notamment, traiter (pré-rodage) la roue de la vis sans fin du mécanisme de halage. Il faut aussi trouver un roulement plus adéquat pour l'arbre de tête de la chaîne et un dispositif plus pratique pour le maintien du bras durant le sciage. En outre, le constructeur et l'utilisateur envisagent d'améliorer le mécanisme de rotation du bras, car l'effort est considérablement plus grand lors de la rotation.

Du point de vue évacuation des débris, les essais de pompage des schlamms et petits débris auront lieu.

Enfin et surtout, *les outils de coupe* retiennent l'attention. Le réaffûtage d'une chaîne pour bras de 3,30 m dure 1 h 15 min, dont 1 h pour la surface horizontale et 15 min pour l'affûtage vertical. L'outil doit être affûté tous les 8 à 10 m² en moyenne. L'outil est donc un facteur sensible du prix de revient.

Plusieurs moyens sont actuellement envisagés pour le rendre moins coûteux tout en lui maintenant son efficacité :

1°) On recherche une nuance de carbure mieux appropriée.

weg, over het oppervlak van de bank zelf, vermits het puin wordt opgevoerd door de ketting die als een emmerelevator werkt. Men heeft beproefd opwaarts te snijden en gezien dat het puin eerder een neiging heeft om zich neer te zetten en de snede te verstoppen, tenzij men natuurlijk een afvoer heeft aan de onderkant van de snede. Het puin verwijdert zich in dat geval minder gemakkelijk alhoewel er spoelwater wordt toegediend tot 1.800 liter/uur, hetgeen heel wat meer is dan de theoretisch vereiste 200 liter/uur. Hoe dan ook, momenteel bestudeert men hoe het puin kan uitgepompt worden.

3. BESLUITEN EN VOORUITZICHTEN

Het besluit uit deze zeer bemoedigende proeven is dat men besloten heeft de machine te aanvaarden voor het klein graniet. Vervolgens werd de machine op proef genomen in een zone waar meer moeilijkheden waren wegens de helling en toevoer van water. Ze ondervond er veel minder last van dan de schroefvormige draad.

Welke zijn nu de vooruitzichten ?

Ongetwijfeld heeft de snijmachine burgerrecht verkregen in het klein graniet en haar prestaties worden voortaan erkend als interressant. Dat belet niet dat nog veel verbeteringen mogelijk zijn. *Uit mechanisch oogpunt* heeft men tijdens het gebruik verbeteringen moeten aanbrengen aan verschillende elementen van de machine en onder meer het wormwiel van het hijsmechanisme moeten behandelen (voor-inlopen). Men moet ook een beter kogelleger vinden voor de hoofdas van de machine en een beter middel om de arm tijdens het zagen op zijn plaats te houden. Bovendien zoeken de bouwer en de gebruiker naar een verbetering van het draaimechanisme van de arm, want tijdens het draaien wordt een merkelijk groter vermogen vereist.

Uit oogpunt *verwijdering van het puin* zullen proeven uitgevoerd worden voor het wegpompen van het slik en het fijne puin.

Tenslotte gaat de aandacht vooral naar de *snijwerktuigen*. Het slijpen van de ketting van de arm van 3,30 m duurt 1 u 15 min, waarvan 1 u voor het horizontaal vlak en 15 min voor het vertikaal slijpen. Het werktuig moet gemiddeld geslepen worden elke 8 tot 10 m². Het werktuig betekent dus een belangrijk element in de kostprijs.

Momenteel worden verschillende maatregelen overwogen om er de kosten van te drukken zonder dat de doelmatigheid eronder lijdt :

1°) Men zoekt naar een meer geschikte soort van carbide.

2°) On envisage d'arroser les pics à l'eau douce, l'eau de la carrière étant très dure. On peut aussi ajouter à l'eau des produits afin de réduire l'usure des pics et les frottements parasites.

3°) On envisage surtout de rendre les outils auto-affûtants. Dans ce cas, les plaquettes beaucoup plus minces et qui se réaffûtent à mesure de l'usure reviennent moins cher et à l'achat et l'usage, ne fut-ce que par la suppression des réaffûtages. Cependant, le brasage de ces plaquettes est délicat. Cet essai a été envisagé sur les conseils du Laboratoire du Professeur Brison à la Faculté Polytechnique de Mons, et en collaboration avec lui. M. Brych, Chef de Travaux à cette Faculté, va d'ailleurs donner un aperçu des travaux effectués en laboratoire dans le domaine du découpage des roches.

2°) Men denkt eraan de beitels te besproeien met zacht water, aangezien het water van de groeve zeer hard is. Men kan ook aan het water stoffen toevoegen die de slijtage van de beitels verminderen evenals de nadelige wrijvingen.

3°) Men tracht vooral de beitels zelfslijpend te maken. In dat geval worden de veel dunnere plaatjes die zichzelf slijpen naargelang van de slijtage goedkoper, en bij aankoop, en in het gebruik, al was het maar omdat het slijpen wordt afgeschaft. Het opleggen van deze plaatjes is echter een moeilijk werk. De proef werd overwogen op aanraden van het Laboratorium van Professor Brison van de Faculté Polytechnique de Mons en in samenwerking met hem. Dhr Brych, Diensthoofd bij deze Faculteit, gaat ons ten andere zo dadelijk een overzicht geven van het laboratoriumwerk dat inzake het snijden van gesteenten werd verricht.

Influence des propriétés physico-mécaniques sur le processus de découpage des roches

Invloed van de fysico-mechanische eigenschappen op de snijbewerking bij gesteenten

L. BRISON & J. BRYCH *

RESUME

Le but poursuivi par les auteurs est de déterminer, à partir des caractéristiques physico-mécaniques des roches, les paramètres des outils qui conditionnent les performances des machines de forage et de découpage, en vue de l'utilisation optimale de celles-ci.

Des essais de laboratoire conçus et adaptés à cette fin permettent d'étudier le processus d'attaque des roches. Ils révèlent le rôle, entre autres, de la dureté Schreiner, de la vitesse de mise en charge, de la résistance tangentielle dynamique du matériau, ainsi que de la vitesse de coupe, pour différentes valeurs de l'abrasivité des roches.

Les déductions pratiques tirées de ces essais ont reçu une première vérification lors de l'utilisation de la haveuse Perrier aux Carrières Gauthier-Wincqz, dans le calcaire carbonifère de Soignies.

SAMENVATTING

De auteurs stellen zich tot doel, uitgaande van de fysico-mechanische karakteristieken van het gesteente, de werktuigparameters af te leiden waarvan de prestaties van boor- en snijmachines afhangen, om zo te komen tot een optimale benutting van deze machines.

Met behulp van daartoe speciaal bestudeerde en aangepaste laboratoriumproeven kan de snijbewerking bij gesteenten onderzocht worden. Hieruit blijkt onder meer de rol van de Schreinerhardheid, van de snelheid waarmee de belasting wordt toegepast, van de dynamische tangentiële weerstand van het materiaal, alsook van de snijsnelheid, voor verschillende waarden van de abrasiviteit van het gesteente.

De praktische besluiten uit deze proeven konden een eerste keer aan de werkelijkheid getoetst worden bij het gebruik van de snijmachine Perrier in de steengroeven Gauthier-Wincqz, in de kolenkalk van Soignies.

INHALTSANGABE

Mit dem Ziel einer optimalen Ausnutzung von Bohr- und Schneidmaschinen versuchen die Verfasser aufgrund der physikalischen und mechani-

SUMMARY

The authors' aim is to determine, on the basis of the physico-mechanical characteristics of the rocks, the parameters of the tools which condition

* Respectivement Professeur ordinaire et Chef de travaux. Faculté Polytechnique de Mons — 7000 Mons.

schen Eigenschaften der Gesteine die Kennwerte der Meißel zu bestimmen, die für die Leistung der Maschinen ausschlaggebend sind. Eigens für diesen Zweck entwickelte Versuche bieten die Möglichkeit, im Laboratorium zu untersuchen, wie die Schneidwerkzeuge das Gestein angreifen. Sie geben u.a. Aufschluß über die Bedeutung der Härte (nach Schreiner), der Geschwindigkeit der Lastaufnahme, der Dauerbiegefestigkeit des Materials an der Einspannstelle sowie der Schneidgeschwindigkeit in Gestein von unterschiedlicher Härte und Abriebsfestigkeit.

Die aus den Versuchen gezogenen praktischen Folgerungen haben eine erste Bestätigung beim Einsatz der Perrier Kerbmaschine im Kohlenkalk von Soignies in den Steinbrüchen von Gauthier-Wincqz gefunden.

the performances of the drilling and cutting machines, with a view to getting the best results from the latter.

Laboratory tests, designed and adapted for this purpose make it possible to study the method of attacking the rocks. They demonstrate, among other things, the part played by the Schreiner hardness, the loading rate, the dynamic tangential resistance of the material, as well as the rate of cutting, for the various values of rock abrasion.

The practical conclusions drawn from these tests have undergone a preliminary checking during the use of the Perrier cutter at the Gauthier-Wincqz Quarries in the carboniferous limestones at Soignies.

INTRODUCTION

Nous nous sommes fixé comme objectif, de façon peut-être ambitieuse, de définir par la méthode expérimentale les divers paramètres qui déterminent les performances techniques et économiques des outils — ou des machines — d'attaque des roches, ceci afin de sortir de l'empirisme pour orienter le choix de l'appareil de forage ou de découpage, et d'en définir, dans chaque cas particulier, les conditions optimales d'utilisation.

Afin de préciser les idées, examinons (fig. 1) la loi de variation de la vitesse de pénétration d'un outil rotatif en fonction de la poussée axiale, à vitesse de rotation constante, pour une roche déterminée [2, 1]. Notre étude, parmi d'autres, montre que la pénétration avec usure acceptable de l'outil se fait au mieux dans la zone linéaire III.

INLEIDING

Wij hebben ons, misschien wat overmoedig, voorgenomen langs experimentele weg de verschillende parameters te bepalen, die determinerend zijn voor de technische en economische prestaties van werktuigen — of machines — waarmee gesteenten worden afgebouwd. Zo hebben wij in de keuze van het werktuig voor boren en snijden willen afrekenen met de empirische gedragslijn en voor elk partikulier geval de beste voorwaarden voor het gebruik willen bepalen.

Om precies te zijn onderzoeken wij (figuur 1) volgens welke wet de indringingssnelheid van een draaiend werktuig verloopt in functie van de axiale druk, bij constante draaisnelheid, voor een bepaald gesteente [2, 1]. Evenals verschillende andere toont onze studie aan dat de indringing met een aanvaardbare slijtage van het werktuig het best verloopt in de lineaire zone III.

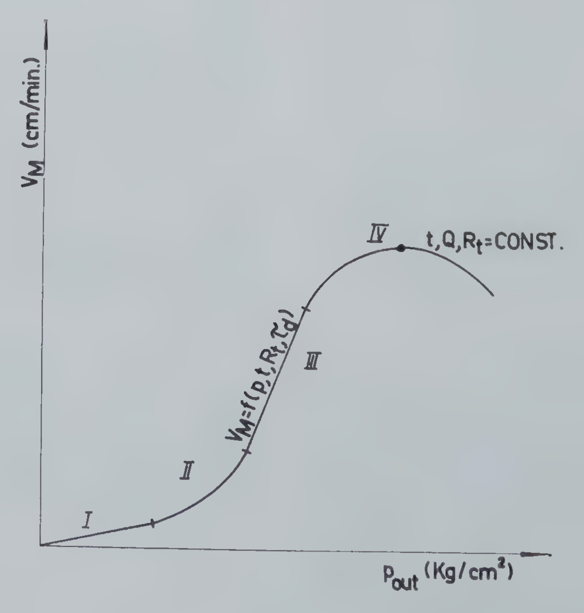
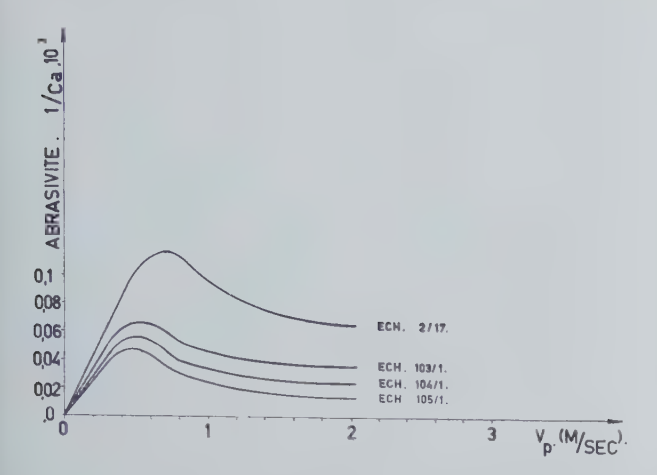


Fig. 1.

L'abrasivité de la roche varie par ailleurs avec la vitesse de rotation suivant la figure 2.

Overigens verandert de abrasiviteit van een gesteente met de rotatiesnelheid volgens figuur 2.



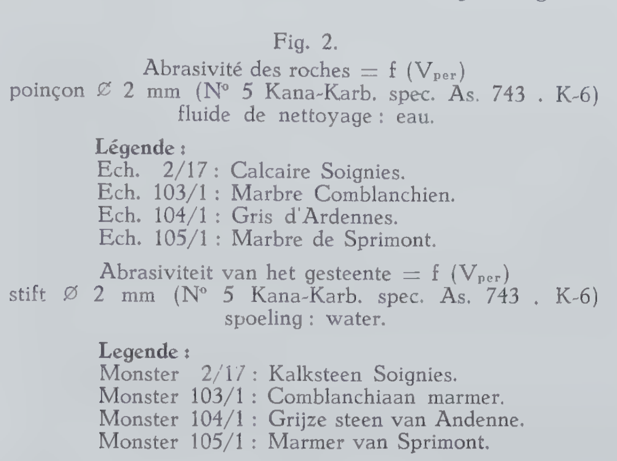


Fig. 2.
Abrasivité des roches = f (V_{per})
poinçon ∅ 2 mm (N° 5 Kana-Karb. spec. As. 743 . K-6)
fluide de nettoyage : eau.

Légende :
Ech. 2/17 : Calcaire Soignies.
Ech. 103/1 : Marbre Comblanchien.
Ech. 104/1 : Gris d'Ardennes.
Ech. 105/1 : Marbre de Sprimont.

Abrasiviteit van het gesteente = f (V_{per})
stift ∅ 2 mm (N° 5 Kana-Karb. spec. As. 743 . K-6)
spoeling : water.

Legende :
Monster 2/17 : Kalksteen Soignies.
Monster 103/1 : Comblanchiaan marmer.
Monster 104/1 : Grijze steen van Andenne.
Monster 105/1 : Marmer van Sprimont.

La répétition des mesures de vitesses de pénétration pour toute une gamme de vitesses de rotation permettra de définir la plage de fonctionnement optimal [3], hachurée sur la figure 3, où la limite inférieure du nombre de tours par minute est imposée par l'abrasivité de la roche et la limite supérieure, le plus souvent, par des raisons de construction et d'économie.

Pour définir la plage optimale sans devoir procéder, pour chaque type de roche et de machine, à une multitude d'essais, longs, coûteux et souvent impossibles, des recherches ont été entreprises au Laboratoire d'Exploitation des Mines de la Faculté Polytechnique de Mons, avec l'appui du Fonds National de la Recherche Scientifique [1]. L'exposé sommaire qui va suivre donnera une idée des méthodes d'investigation mises en œuvre et des premiers résultats obtenus en ce qui concerne le découpage par machine à chaîne ripante.

Herhaalde metingen van de indringingssnelheid voor een hele gamma van rotatiesnelheden leidt tot de afbakening van een optimale werkingsstrook (3), aangeduid door arcering op figuur 3, waar de onderste grens van het aantal omwentelingen per minuut opgelegd wordt door de abrasiviteit van het gesteente, en de bovenste grens meestal door overwegingen van bouwtechnische en economische aard.

Om de optimale strook te kunnen bepalen zonder voor elk type van gesteente en machine een groot aantal langdurige, kostelijke en vaak onmogelijke proeven te moeten uitvoeren, hebben wij in het Laboratorium voor Mijnontginning van de Faculté Polytechnique de Mons met de steun van het Nationaal Fonds voor het Wetenschappelijk Onderzoek [1] navorsingen verricht. Het hierna volgende korte relaas geeft een idee van de aangewende onderzoekingsmethoden en van de eerste resultaten die verband houden met het snijden door middel van een machine met voortschrijdende ketting.

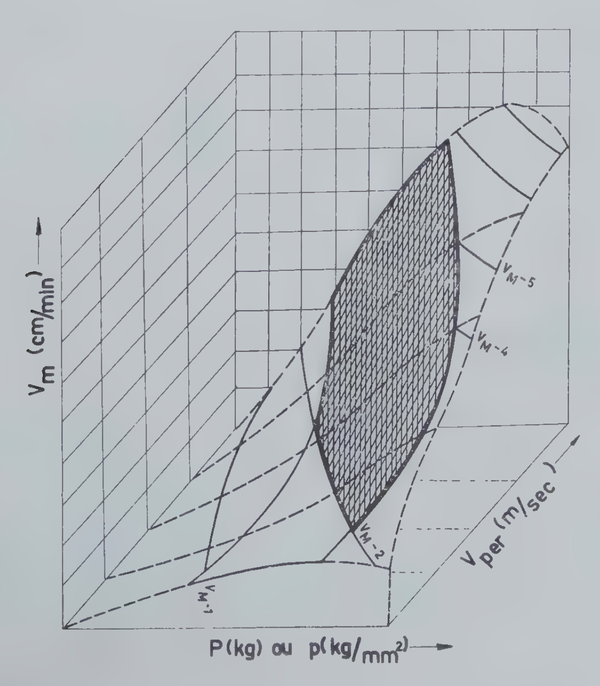


Fig. 3.

Les paramètres dont il faut étudier l'influence sont, d'une part, ceux de la roche, et d'autre part, ceux de l'outil.

Les paramètres de l'outil sont d'ordre géométrique (forme, dimensions, angles de coupe, de taillant et de dépouille) et technologique (disposition des pics, nature des surfaces actives : carbure de tungstène, concrétion diamantée, etc.). Leur optimisation dépendra au premier chef des caractères physico-mécaniques de la roche, dont nous allons montrer quelques relations avec les performances de l'outil.

L'étude est partie d'un recours systématique à l'essai Schreiner dont la figure 4 résume la technique et les résultats [3, 4, 5].

De parameters waarvan de invloed moet bestudeerd worden, zijn van de ene kant die van het gesteente en van de andere kant die van het werktuig.

De parameters van het werktuig zijn van geometrische aard (vorm, afmetingen, snijhoeken, beitelhoeken en vrijhoeken) en van technologische aard (schikking van de beitels, aard van de werkende oppervlakken : wolframcarbide, diamantagglomeraat, enz...). Hoe ze optimaal gebruikt kunnen worden hangt op de eerste plaats af van de fysico-mechanische eigenschappen van het gesteente; wij gaan enkele voorbeelden aanhalen van het verband dat er bestaat tussen deze eigenschappen en de prestaties van het werktuig.

De studie is gebaseerd op het systematisch gebruik van de Schreinerproef waarvan figuur 4 onder samengevatte vorm de techniek en de resultaten geeft [3, 4, 5].

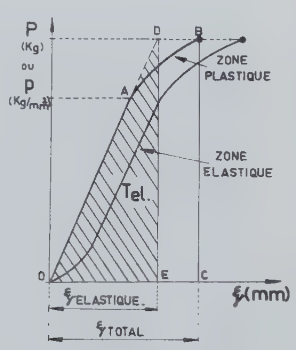
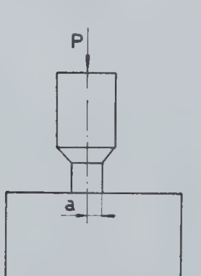


Fig. 4.



$$\sigma_{sch} = \frac{P_{max}}{S_{poinc.}} \ [kg/mm^2]$$

$$C_{plast} = \frac{\text{travail total}}{\text{travail élastique}} = \frac{OABC}{ODE}$$

$$C_{fragil.} = \frac{1}{C_{plast.}}$$

$$E_{statique} = \frac{P_{max}\ (1 - \eta^2)}{2a \, . \, \xi_{el}} \ [kg/cm^2]$$

$$T_{elastiq.} = \frac{P^2_{max}\ (1 - \eta^2)}{4a \, . \, E_{st}} = ODE \ [kgm]$$

$$T_{tot.\ de\ destr.} = \frac{P^2_{max}\ (1 - \eta^2)}{4a \, . \, E_{st}} C_{plast.} = OABC \ [kgm]$$

$$T_{spec.\ de\ cont.} = \frac{OABC}{\pi\ a^2}$$

$$T_{volum.\ de\ dest.} = \frac{T_{tot.}}{V} = \frac{OABC}{V} \ [kgm/mm^2]$$

$$\sigma_{sch} = \frac{P_{max}}{S_{stift}} \ [kg/mm^2]$$

$$C_{plast.} = \frac{\text{tot. arbeid}}{\text{elast. arbeid}} = \frac{OABC}{ODE}$$

$$C_{breekb.} = \frac{1}{C_{plast.}}$$

$$E_{statisch} = \frac{P_{max}\ (1 - \eta^2)}{2a \, . \, \xi_{el}} \ [kg/cm^2]$$

$$T_{elastisch} = \frac{P^2_{max}\ (1 - \eta^2)}{4a \, . \, E_{st}} = ODE \ [kgm]$$

$$T_{tot.\ verbrijz.} = \frac{P^2_{max}\ (1 - \eta^2)}{4a \, . \, E_{st}} C_{plast.} = OABC \ [kgm]$$

$$T_{spec.\ cont.} = \frac{OABC}{\pi\ a^2}$$

$$T_{vol.\ verniel.} = \frac{T_{tot.}}{V} = \frac{OABC}{V} \ [kgm/mm^3]$$

Un poinçon à bout cylindrique de rayon a attaque normalement une surface plane de l'échantillon de roche sous une poussée P, que l'on fait croître jusqu'à rupture superficielle de la roche par éclatement. Le graphique charge/déformation, corrigé des effets à l'origine des irrégularités de surface, présente le plus souvent une zone de déformation élastique et une zone de déformation plastique (sauf pour les roches élastiques fragiles et pour les roches plastiques) [4, 5]. De cet essai, on déduit : la dureté Schreiner, les coefficients de plasticité et de fragilité, le module d'élasticité statique, le travail de déformation élastique, le travail total de déformation et le travail volumétrique de destruction de la roche.

Mais, un seul essai Schreiner ne caractérise pas une roche, car la déformation d'une roche est influencée par la vitesse de variation de la tension qui la provoque [6]. C'est ainsi que, pour le calcaire carbonifère de Soignies, on obtient les résultats rassemblés dans la figure 5, qui montre le rôle capital d'un facteur dynamique : la vitesse de mise en charge, notée V_{MCH}.

L'allure d'un tel graphique dépend de la texture et de la cohésion de la roche. On y distingue des zones préférentielles pour la destruction du matériau : volume détruit maximal pour un travail donné, correspondant en général à la granulométrie maximale des débris de roche.

Een stift met cilindrisch uiteinde en straal a drukt loodrecht op het vlakke oppervlak van een gesteentemonster, met een drukkracht P, die men laat toenemen tot het gesteente het plaatselijk begeeft door verplettering. De grafiek belasting-vervorming, verbeterd door het elimineren van de invloed van oppervlakteonregelmatigheid bij de aanvang, vertoont meestal een zone van plastische vervorming (behalve voor de breekbare elastische en de plastische gesteenten) [4, 5]. Uit deze proef leidt men het volgende af : de Schreinerhardheid, de plasticiteits- en breekbaarheidscoëfficiënten, de statische elasticiteitsmodulus, de totale vervormingsarbeid en de volumetrische arbeid nodig voor de vernieling van het gesteente.

Evenwel is één enkele Schreinerproef niet kenmerkend voor een gesteente, omdat de vervorming ervan wordt beïnvloed door de snelheid waarmee de spanning, die de vervorming veroorzaakt, verandert [6]. Zo bekomt men bij voorbeeld voor de kolenkalk van Soignies de resultaten die samengebracht werden in figuur 5, die de zeer belangrijke rol beklemtoont van een dynamische factor, de snelheid waarmee de belasting wordt toegepast, genoemd V_{MCH}. Het verloop van zulke grafiek hangt af van de textuur en de cohesie van het gesteente. Men onderscheidt er zones in waarin de vernieling van het materiaal bij voorkeur optreedt : het vernielde volume is maximaal voor een gegeven arbeid, hetgeen meestal gepaard gaat met de hoogste korrelgrootte van de afbraakprodukten.

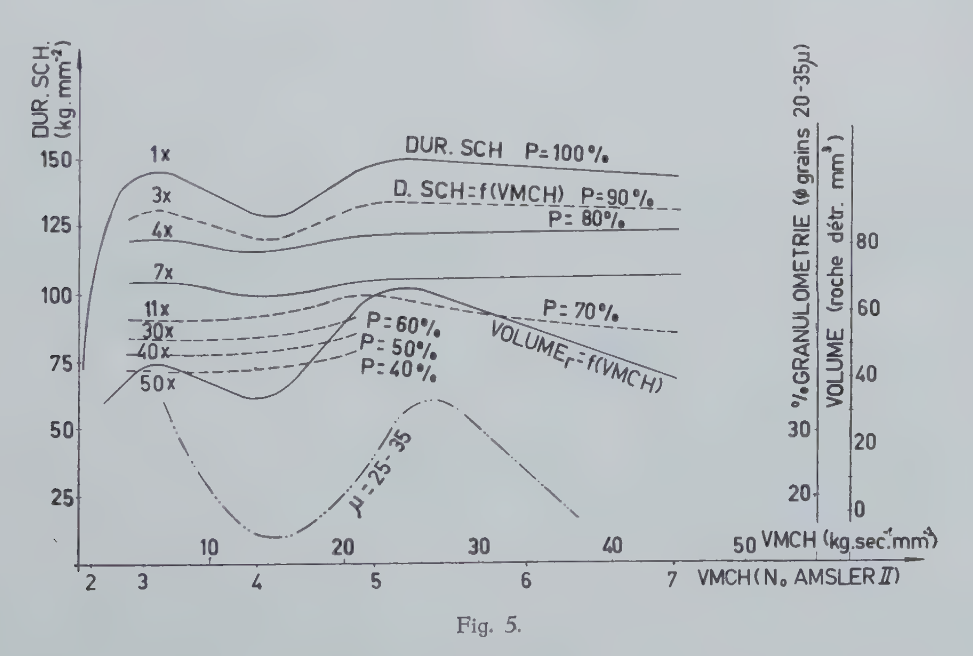


Fig. 5.

Calcaire de Soignies.
Poinçon Ø 2 mm (N° 5. Kana-Karb. spec. As. 743 . K-6).

Kalsteen van Soignies.
Stift Ø 2 mm (N° 5. Kana-Karb. spec. As. 743 . K-6).
Dur. Sch. = Sch. hardheid.
Granulométrie = korrelverdeling (Ø korrels 20-35 μ).
Volume (roche détr. mm³) = Volume (verbrijzeld gesteente mm³).

L'essai Schreiner classique doit être modifié pour l'étude de l'attaque des roches par découpage ou forage : la poussée axiale P_v doit être combinée avec un déplacement latéral perpendiculaire de l'échantillon sous un effort P_h. La mesure de la tension tangentielle dynamique de rupture τ_d sous l'effet de ces sollicitations combinées — tension fortement influencée par la vitesse du déplacement latéral — est particulièrement significative (si le déplacement du poinçon est obtenu par rotation d'un bras de support, comme l'indique la figure 6, on mesure le couple de résistance dynamique à la pénétration M, qui est proportionnel à τ_d).

De klassieke Schreinerproef moet gewijzigd worden voor de studie van de afbouw van gesteenten door boren of snijden : de axiale drukkracht P_v moet worden gecombineerd met een loodrechte zijdelingse verplaatsing van het monster onder invloed van een kracht P_h. Het meten van de dynamische tangentiële breukspanning τ_d onder invloed van deze gecombineerde belastingen — de spanning wordt sterk beïnvloed door de snelheid der zijdelingse verplaatsing — is bijzonder betekenisvol (indien de stift verplaatst wordt door het draaien van de steunarm, zoals figuur 6 uitbeeldt, meet men het dynamisch weerstandbiedend koppel tegen indringing M, dat evenredig is met τ_d).

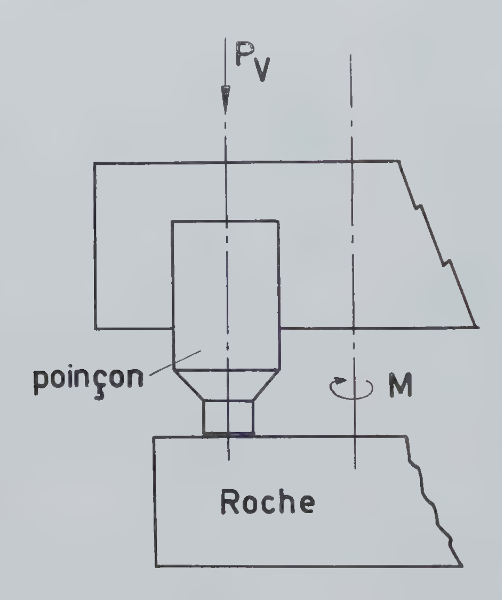


Fig. 6.
Poinçon = stift.
Roche = gesteente.

La figure 7 groupe, pour le calcaire de Soignies, les lois de pénétration du poinçon et de la tension tangentielle de rupture.

Figuur 7 groepeert voor de kalksteen van Soignies de indringingswetten van de stift en de wet van de tangentiële breukspanning.

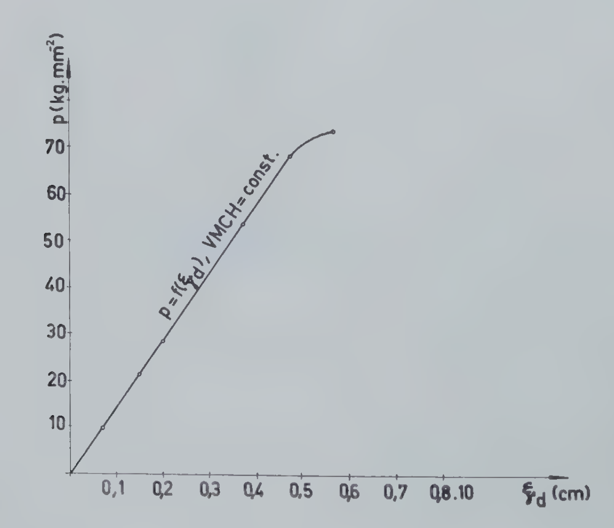


Fig. 7a.

Calcaire de Soignies, dureté Schreiner.
VMCH : 0,2-0,3 (kg . sec^{-1} . mm^{-2}).
Poinçon Ø 1,04 mm.

Kalksteen van Soignies, Schreiner-hardheid.
VMCH : 0,2-0,3 (kg . sec^{-1} . mm^{-2}).
Stift Ø 1,04 mm.

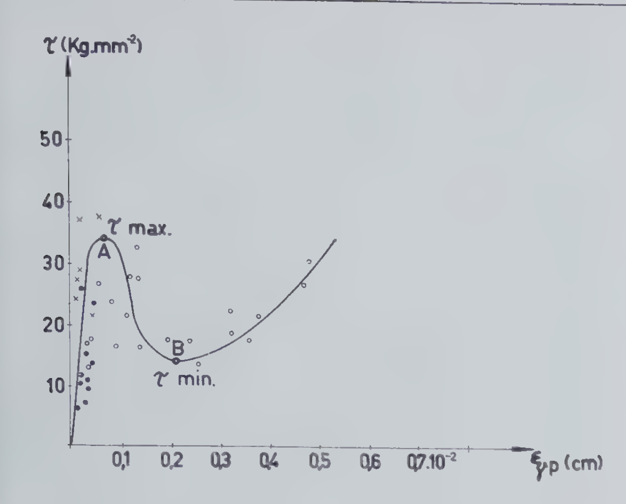


Fig. 7b.

Calcaire de Soignies. Résistance tangentielle dynamique.
VMCH = 0,2-0,3 kg . sec^{-1} . mm^{-2}.
poinçons Ø : 1,04 mm ○
2,50 mm +
3,00 mm ●
τ min = 0,41 dureté Schreiner.

Kalksteen Soignies. Dynamische tangentiële weerstand.
VMCH = 0,2-0,3 kg . sec^{-1} . mm^{-2}.
stiften Ø : 1,04 mm ○
2,50 mm +
3,00 mm ●
τ min = 0,41 Schreiner-hardheid.

Pour de faibles enfoncements, le poinçon doit franchir les dénivellations microscopiques de la surface rocheuse avec des effets de frottement considérables. Sous une poussée axiale P_v plus élevée, le poinçon pénètre davantage dans la roche et la valeur de τ_d diminue jusqu'à un minimum pour augmenter ensuite. Le processus de destruction de la roche change: la dureté Schreiner est atteinte (fig. 8), la formation de fissures commence sous le poinçon. Lorsque la limite de résistance au poinçonnement est dépassée, le poinçon s'enfonce en fragmentant un certain volume de roche sous sa surface d'attaque : les débris ainsi formés sont comprimés et durcis par le poinçon, tandis que la roche éclate sur une certaine surface autour de celui-ci.

Bij zwakke indringing moet de stift de microscopisch kleine ongelijkheden van het oppervlak, die een belangrijke wrijving veroorzaken, overwinnen. Bij hogere axiale druk P_v dringt de stift verder door in het gesteente en vermindert de waarde τ_d tot een minimum om vervolgens opnieuw te stijgen. De vernieling van het gesteente verloopt volgens een andere processus : de Schreinerhardheid wordt bereikt (fig.8), onder de stift beginnen spleten te ontstaan. Eens dat de indringingsweerstand overschreden is, gaat de stift verder terwijl een bepaald volume van het gesteente onder zijn drukvlak verbrijzeld wordt : de aldus gevormde afbraakprodukten worden door de stift samengedrukt en verhard, terwijl het gesteente in een bepaalde omtrek omheen de stift uiteenspringt.

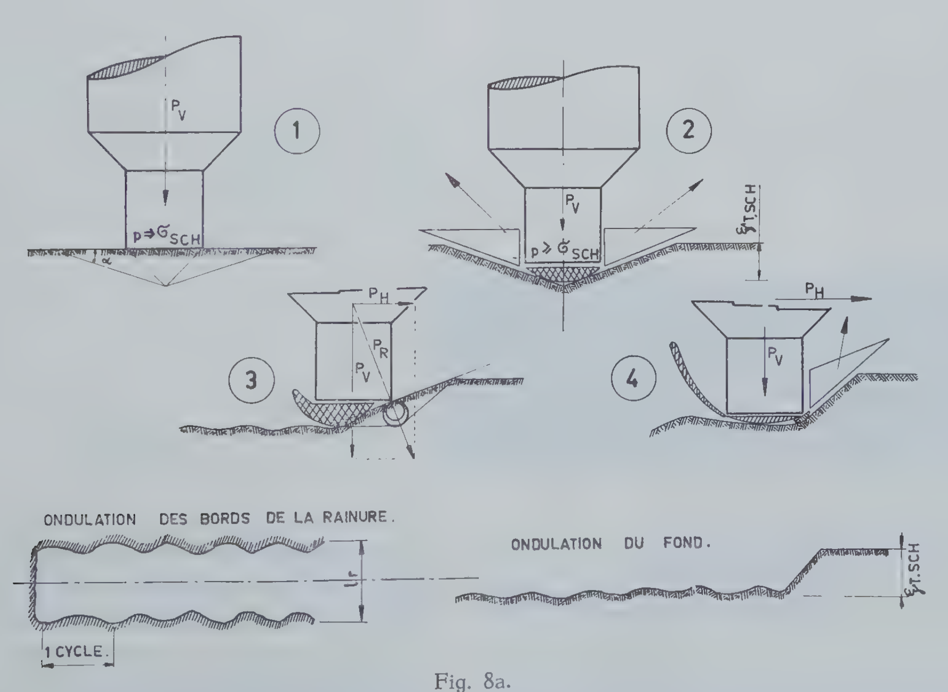
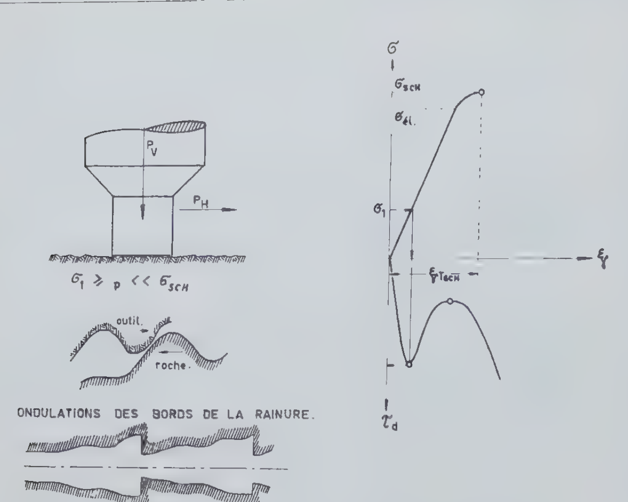
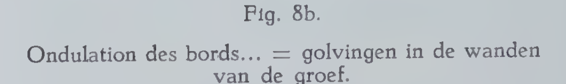


Fig. 8a.

Ondulation des bords... = golvingen in de wanden van de groef.
Ondulation du fond = golvingen in de bodem.




Fig. 8b.

Ondulation des bords... = golvingen in de wanden van de groef.

Le déplacement latéral du poinçon, qui provoque le laminage des débris comprimés, ne peut se poursuivre que sur la surface inclinée du matériau encore intact, à la limite de la zone d'éclatement. Cette surface inclinée cède à son tour, et ainsi de suite.

Le processus de destruction doit donc avoir un caractère cyclique et périodique. Le poinçon est, par conséquent, soumis à des déplacements verticaux oscillatoires, qui se traduisent par la formation d'ondulations tant au fond que sur les bords de l'entaille ou rainure tracée dans la roche, tandis que des copeaux se soulèvent devant l'outil (fig. 8).

Nous avons observé sur diverses roches que le processus de destruction était toujours semblable: sur les grès houillers de Pâturages, par exemple, le découpage s'effectue par saccades, avec effets vibratoires.

L'enregistrement de la variation de l'effort sur un pic, en fonction de son déplacement horizontal, révèle bien l'allure périodique qui confirme nos hypothèses (voir par exemple la figure 9, relative à un échantillon de Comblanchien) (*).

De zijdelingse verplaatsing van de stift, waardoor de afbraakprodukten gewalst worden, kan enkel gebeuren op het hellend oppervlak van het nog niet beschadigde materiaal, op de grens van de gesprongen zone. Dit hellend oppervlak begeeft het op zijn beurt, enzovoorts.

De vernielingsprocessus moet dus een cyclisch en periodisch karakter hebben. De stift wordt bijgevolg onderworpen aan schommelende verticale verplaatsingen, die golvingen opleveren zowel op de bodem als in de wanden van de snede of groef die in het gesteente wordt aangebracht, terwijl spanen zich vormen vóór het werktuig (fig. 8).

Wij hebben op verschillende gesteenten waargenomen dat de vernielingsprocessus steeds gelijkaardig is : in zandsteen van het kolengebergte te Pâturages verloopt het snijden bij voorbeeld in sprongen, met een trillend effect.

Tekent men de veranderingen in de krachten op een beitel op in functie van zijn horizontale verplaatsing, dan ziet men duidelijk het periodisch verloop dat onze hypothesen bevestigt (zie bij voorbeeld figuur 9, betreffende een monster van het Comblanchiaan) (*).

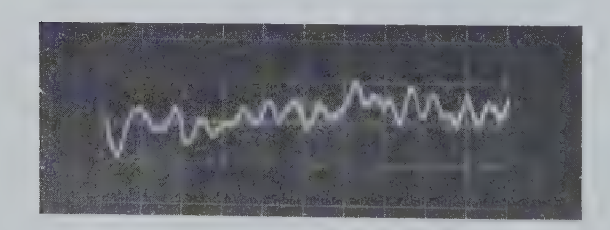


Fig. 9.
Comblanchien 5 m SEC/DIV.
Comblanchiaan 5 m SEC/DIV.

On ne peut évidemment négliger l'influence, sur le fonctionnement d'une chaîne de havage ou de rouillage, de la disposition des divers pics et

Vanzelfsprekend mag men de invloed van de opstelling der verschillende beitels en hun snijvlakken bij een snij- of kerfmachine niet ver-

(*) Enregistrement effectué avec le concours de M. Ledocq, Chef de Travaux au département « Mécanique » de la F.P.Ms.

(*) Geregistreerd met medewerking van de Hr. Ledocq, Diensthoofd bij de afdeling « Mechanica » van de F.P.Ms.

de leur surface d'attaque, surtout si l'on veut limiter les efforts à mettre en œuvre. Une étude faite sur les calcaires de Soignies, grâce à l'obligeance de M. Gauthier, Administrateur-Directeur des Carrières Gauthier-Wincqz, et de son collaborateur M. Taquet, nous a montré la variation de la destruction superficielle et profonde de la roche en fonction de la surface active des poinçons, la vitesse de mise en charge étant maintenue constante (fig. 10). Un graphique de ce genre est susceptible de fournir les éléments de base pour le calcul du sertissage des éléments d'attaque d'une chaîne de découpage ou d'une couronne de forage.

waarlozen, vooral als men wil komen tot een beperking van de vereiste kracht. Een studie van de kalksteen van Soignies, die wij hebben uitgevoerd met de welwillende medewerking van de Hr. Gauthier, Beheerder-Directeur van de Groeven Gauthier-Wincqz, en zijn medewerker de Hr. Taquet, heeft ons getoond hoe de oppervlakte- en dieptevernieling van het gesteente verandert in functie van de actieve oppervlakte van de stiften, de snelheid waarmee de belasting wordt toegepast niet verandert (fig. 10). Soortgelijke grafiek kan de basiselementen leveren voor het berekenen van de opstelling der snijwerktuigen op een snijketting of een boorkroon.

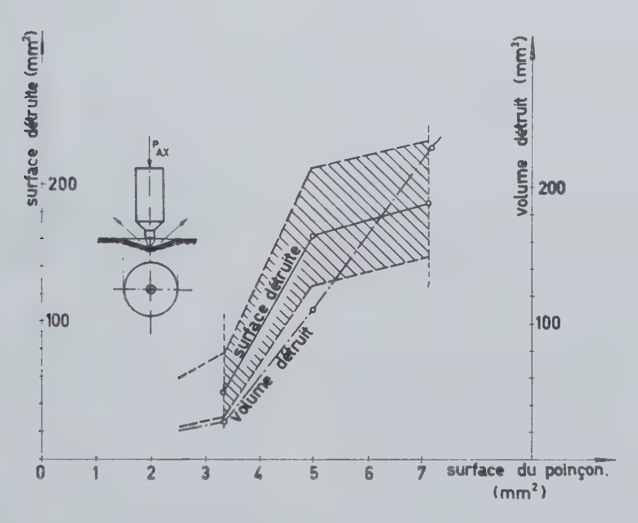


Fig. 10.

Calcaire de Soignies.
Volume R = f ($S_{poinc.}$); VMCH = const.
Surface R = f ($S_{poinc.}$); VMCH = const.

Kalksteen van Soignies.
Volume R = f (S_{stift}); VMCH = const.
Oppervlakte R = f (S_{stift}); VMCH = const.

surface détruite = verbrijzelde oppervlakte.
volume détruit = verbrijzeld volume.
surface du poinçon = oppervlakte van de stift.

La qualité du matériau des poinçons ou des pics joue également un rôle très important : la figure 11 [1] montre la relation entre l'abrasivité et la nature du matériau, pour une série de roches de duretés différentes. Ce graphique nous montre que, pour le diamant, l'influence de l'abrasivité a une importance beaucoup moindre que pour l'acier ou le carbure de tungstène.

Ook de hoedanigheid van het materiaal waaruit de stiften of beitels gemaakt zijn speelt een zeer voorname rol : figuur 11 [1] geeft het verband tussen de abrasiviteit en de aard van het materiaal, voor een reeks gesteenten met verschillende hardheden. Uit deze grafiek volgt dat de invloed der abrasiviteit veel kleiner is voor diamant dan voor staal of wolframcarbide.

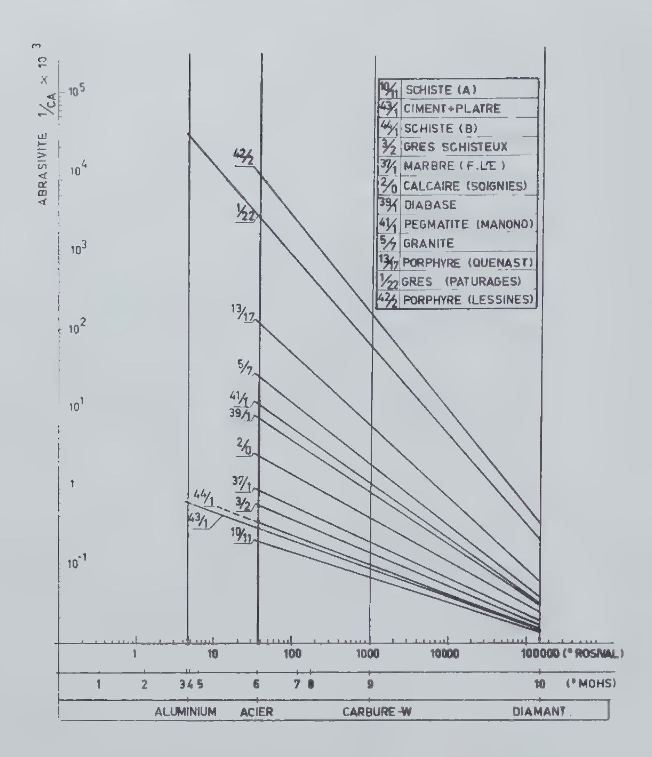


Fig. 11.

Abrasivité = f ($D_{poinc.}$).
$V_{lineaire}$ = 2 à 6 m/s.
Fluide de nettoyage : air comprimé.

Abrasiviteit = f (D_{stift}).
$V_{lineair}$ = 2 tot 6 m/s.
Spoeling : perslucht.

10/11	schiefer (A)
43/1	cement + gips
44/1	schiefer (B)
3/2	schieferachtige zandsteen
37/1	marmer (F . l'E)
2/0	Kalksteen (Soignies)
39/1	diabaas
41/1	pegmatiet (Manono)
5/7	graniet
13/17	porfier (Quenast)
1/22	zandsteen (Paturages)
42/2	porfier (Lessen)

acier = staal; carbure-W = W-carbide.

ESSAIS RELATIFS A L'UTILISATION DE LA HAVEUSE PERRIER AUX CARRIERES GAUTHIER-WINCQZ, A SOIGNIES

Pour déterminer les meilleurs régimes de travail de la haveuse, nous avons effectué une série d'essais de laboratoire dont quelques-uns sont résumés ici sous forme graphique.

Les mesures d'abrasivité ont montré (fig. 2) quelles étaient les vitesses de coupe à éviter pour ne pas provoquer d'usure excessive des pics. Nous avons exploré à cette occasion le domaine des vitesses comprises entre 0 et 2 m/s, qui n'avait pas retenu notre attention lors d'une étude publiée en janvier 1970 dans la Revue de l'Industrie Minérale [1] : la figure 2 est donc plus complète que le graphique publié antérieurement.

La figure 12 rend compte de l'attaque de la roche en fonction de la poussée P_v, particulièrement dans la zone de 20 à 30 kg/mm² qui est celle où travaille la haveuse. Elle montre que la machine convient, dans cette zone, pour les calcaires de Soignies comme pour ceux de Sprimont et d'Andenne, ou pour le Comblanchien.

La figure 13 montre comment varie avec la pression sur l'outil, la puissance requise pour la destruction de la roche : l'accroissement de puissance n'est pas important lorsque la pression passe de 20 à 30 kg/mm², ce qui confirme les considérations développées dans l'introduction à la présente note [3].

PROEVEN OVER HET GEBRUIK VAN DE SNIJMACHINE PERRIER IN DE GROEVEN GAUTHIER-WINCQZ TE SOIGNIES

Wij hebben, om voor de snijmachine het beste werkregime te bepalen, een reeks laboratoriumproeven uitgevoerd waarvan er enkele hierna onder de vorm van grafieken worden samengevat.

De abrasiviteitsmetingen (figuur 2) hebben aangetoond welke snijsnelheden moesten vermeden worden omdat ze een overdreven slijtage van de beitels veroorzaken. Wij hebben bij die gelegenheid het snelheidsbereik verkend tussen 0 en 2 m/s, een strook waaraan wij geen aandacht hadden besteed bij een studie die wij in januari 1970 gepubliceerd hebben in de «Revue de l'Industrie Minérale» [1]; figuur 2 is dus vollediger dan de voordien gepubliceerde grafiek.

Figuur 12 duidt aan hoe het gesteente wordt aangetast in functie van de drukkracht P_v, vooral in de zone van 20 tot 30 kg/mm², zone waarin de snijmachine werkt. De figuur toont aan dat de machine in deze zone geschikt is voor de kalksteen van Soignies, evenals voor die van Sprimont en Andenne, en ook voor het Comblanchiaan.

Figuur 13 toont aan hoe het vermogen dat vereist is om de gesteenten te verbrijzelen verandert met de drukking van het werktuig : de stijging van het vermogen is niet belangrijk wanneer de druk stijgt van 20 tot 30 kg/mm², hetgeen een bevestiging inhoudt van de beschouwingen die wij in de inleiding tot deze nota hebben gegeven [3].

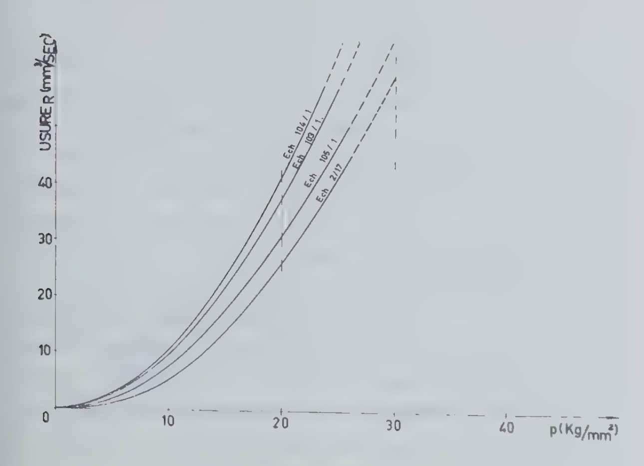


Fig. 12.

Haveuse Perrier.
USURE$_{roche}$ = f (pression, pour Vp = 0,36 m/s).
poinçon carbure de tungstène Ø 3 mm.
(N° 5. Kana-Karb. spec. As. 743 . K-6).
fluide de nettoyage : eau.

Légende :

Ech. 2/17 : calcaire Soignies.
Ech. 103/1 : marbre Comblanchien.
Ech. 104/1 : gris d'Ardennes.
Ech. 105/1 : marbre de Sprimont.

Snijmachine Perrier.
SLIJTAGE$_{gesteente}$ = f (drukking, voor Vp = 0,36 m/s).
stift in wolframcarbide Ø 3 mm.
(N° 5. Kana-Karb. spec. As. 743 . K-6).
spoeling : water.

Legende :

Monster 2/17 : kalksteen Soignies.
Monster 103/1 : Comblanchiaan marmer.
Monster 104/1 : grijze steen van Ardennes.
Monster 105/1 : marmer van Sprimont.

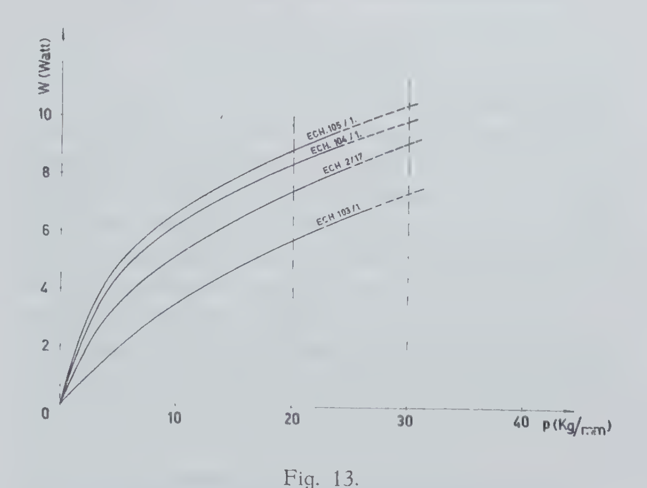


Fig. 13.

Haveuse Perrier.
W = f (p) pour Vp = 0,36 m/s.
poinçon Ø 3 mm (N° 5. Kana-Karb. spec. as. 743 . K-6).
fluide de nettoyage : eau.

Légende :

Ech. 2/17 : calcaire de Soignies.
Ech. 103/1 : marbre Comblanchien.
Ech. 104/1 : gris d'Ardennes.
Ech. 105/1 : marbre de Sprimont.

Snijmachine Perrier.
W = f (p) voor Vp = 0,36 m/s.
stift Ø 3 mm (N° 5. Kana-Karb. spec. as. 743 . K-6).
spoeling : water.

Legende :

Monster 2/17 : kalksteen van Soignies.
Monster 103/1 : Comblanchiaan marmer.
Monster 104/1 : grijze steen van Ardennes.
Monster 105/1 : marmer van Sprimont.

La disposition des pics, tant dans le sens parallèle à celui du mouvement de la chaîne que dans le sens perpendiculaire, a des conséquences importantes pour le travail de découpage. La figure 14 montre l'influence de l'écartement horizontal des pics de la haveuse sur la puissance absorbée, pour 3 vitesses de coupe différentes. On voit nettement que la puissance, pour une vitesse de coupe donnée, passe par un minimum pour un écartement optimal qui dépend de cette vitesse. L'interdépendance de ces deux variables est conforme aux considérations théoriques antérieures.

De schikking van de beitels, zowel in de richting evenwijdig met de beweging der ketting als in de richting loodrecht erop, heeft een belangrijke invloed op het snijwerk. Figuur 14 geeft de invloed van de horizontale afstand tussen de beitels op het opgeslorpte vermogen, voor drie verschillende snijsnelheden. Men ziet duidelijk dat het vermogen voor een bepaalde snijsnelheid door een minimum gaat voor een optimale afstand die van deze snelheid afhangt. Het onderling verband tussen deze twee veranderlijke grootheden komt overeen met de eerder vermelde theoretische beschouwingen.

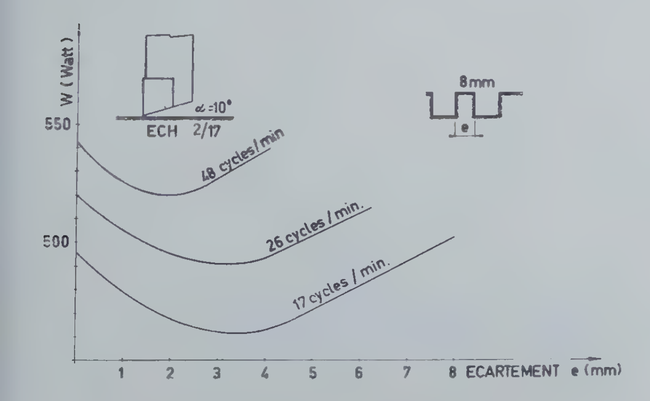


Fig. 14.

W = f (écartement des pics) pour P = const. et N ≠ const.
W = f (afstand tussen de beitels) voor P = const. en N ≠ const.
cycles/min = cyclus/min.

Le travail d'un pic isolé, monté sur un étau-limeur, attaquant la surface plane d'un bloc de calcaire de Soignies, a été filmé, pour divers écartements entre les rainures de havage successives, soit 8 mm, 7 mm, 5 mm et 3 mm. Le film confirme que la destruction de la roche par éclatement superficiel s'accompagne d'une fissuration qui se propage horizontalement et verticalement à partir de la saignée, suivant un processus dont la figure 8 indique le schéma. La formation de ces fissures a un caractère continu et les effets du poinçonnage assurent l'éclatement périodique du matériau (fig. 15 et 15bis).

Het werk van een geïsoleerde beitel, opgesteld in een beitelhouder, in aanraking met het effen oppervlak van een blok kalksteen van Soignies, werd gefilmd voor verschillende afstanden tussen de opeenvolgende snijgroeven, namelijk 8 mm, 7 mm, 5 mm en 3 mm. De film bevestigt dat de verbrijzeling van het gesteente gepaard gaat met een splijting die zich van uit de groeve horizontaal en vertikaal voortplant volgens een processus waarvan figuur 8 het schema geeft. De vorming van deze spleten verloopt op een continue wijze en de stift heeft als effect dat het materiaal periodisch uiteenspringt (zie foto, figuur 15 en 15bis).



Fig. 15.
Calcaire de Soignies. Découpage avec ondulations des bords de la rainure (poinçon à bout plat en carbure). (grossissement 3 ×)
Kalksteen van Soignies. Het afsnijden met golvingen van de wanden van de groef (stift met stompe punt in carbide). (3 × vergroot)

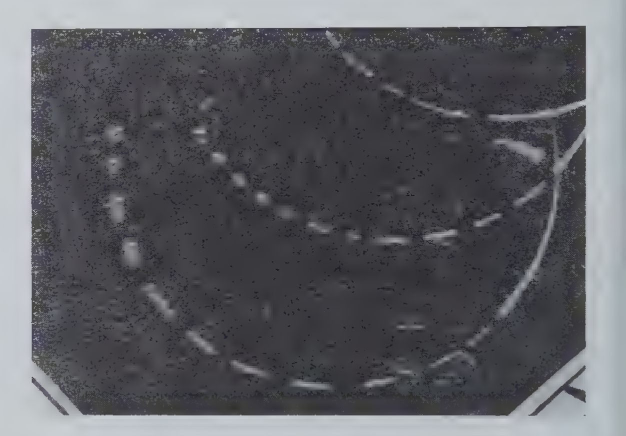


Fig. 15bis.
Effets de l'éclatement périodique de marbre de Fontaine-l'Evêque (poinçon diamanté) (grossissement 3 ×).
Effect van de periodische verbrijzeling van het marmer van Fontaine-l'Evêque (diamantstift) (3 × vergroot).

Ces constatations nous amènent d'ailleurs à envisager une nouvelle adaptation de l'essai Schreiner afin de reconstituer plus fidèlement, en laboratoire, la sollicitation de la roche par un pic. Dans cet essai modifié (fig. 16), le poinçon attaquera la roche suivant une surface oblique d'inclinaison égale — ou proche — à celle du bord de la cuvette d'éclatement indiquée par la figure 8.

Deze vaststellingen brengen ons ten andere tot een nieuwe aanpassing van de Schreinerproef waardoor de belasting van een gesteente door een beitel in het laboratorium getrouwer kan worden nagebootst. In deze gewijzigde proef (figuur 16) drukt de stift op het gesteente volgens een schuin vlak met een helling gelijk aan — of gelijkend op — deze van de boord der verbrokkelingskom aangeduid door figuur 8.

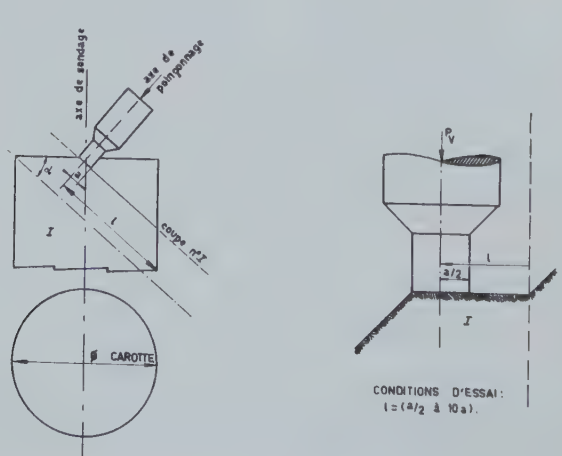


Fig. 16.
axe de sondage = booras.
axe de poinçonnage = drukas.
coupe n° 1 = doorsnede nr. 1.
carotte = kern.
conditions d'essai = proefomstandigheden.



CONCLUSIONS ET PROJETS

Avant de fabriquer un outil de découpage ou de forage, il est souhaitable de connaître de façon précise les caractères physico-mécaniques de la roche à attaquer.

La connaissance de ces caractères permet, si l'on ne peut envisager la construction d'un outil spécial, de choisir l'outil le plus convenable parmi ceux dont on peut disposer.

Connaissant les caractères de la roche et de l'outil, il est possible de définir les conditions optimales de travail, tant sous l'angle technologique que sous l'angle économique, à savoir :

a) la grandeur de la poussée axiale à appliquer,
b) la vitesse de coupe à réaliser,
c) le débit de fluide nécessaire pour assurer l'évacuation des débris de roche et pour refroidir l'outil, ainsi que la qualité de ce fluide.

Il apparaît de plus, dès à présent, que l'on pourra, par un choix approprié des qualités du fluide de curage, exercer une influence favorable aux performances de l'outil, par une action physico-chimique et mécanique à la surface de contact de l'outil avec la roche, ainsi que dans la zone microfissurée de celle-ci.

Des essais de laboratoire antérieurs nous ont déjà montré (fig. 17) que l'action d'un jet d'eau ou de boue abrasive est à prendre en considération comme adjuvant du découpage mécanique

BESLUITEN EN ONTWERPEN

Voor men een snij- of boorwerktuig maakt dient men bij voorkeur een nauwkeurige kennis te bezitten omtrent het fysico-mechanisch karakter van het te bewerken gesteente.

Kan men niet overwegen een speciaal werktuig te maken, dan maakt de kennis van deze kenmerken het toch mogelijk tussen die werktuigen die men heeft het beste te kiezen.

Kent men de kenmerken van het gesteente en van het werktuig, dan kan men de optimale werkvoorwaarden vastleggen uit technologisch en economisch oogpunt, namelijk:

a) grootte van de aan te wenden axiale drukking;
b) aan te wenden snijsnelheid;
c) het fluïdumdebiet dat vereist is om het puin weg te spoelen en het werktuig af te koelen, alsook de kwaliteit van dit fluïdum.

Bovendien blijkt nu reeds dat men door een juiste keuze van de hoedanigheid van de spoeling een gunstige invloed kan uitoefenen op de prestaties van het werktuig, door een fysico-chemische en een mechanische actie op het contactoppervlak tussen werktuig en gesteente alsook in de microgespleten zone daarvan.

Vorige laboratoriumproeven hebben ons reeds geleerd (figuur 17) dat een straal water of abrasief slik als hulpmiddel bij het mechanisch snijden van rotsen dienstig kan zijn (vooral als men

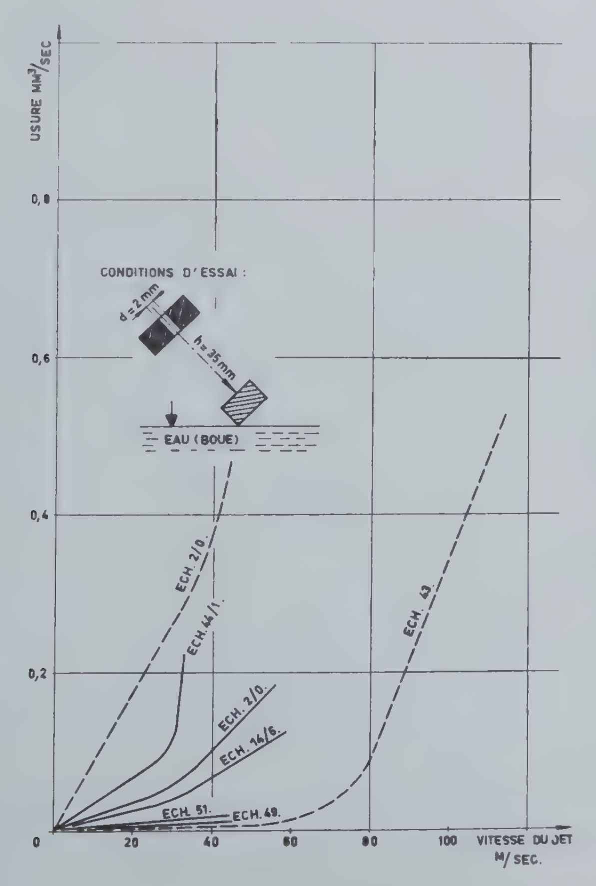


Fig. 17.

Usure par érosion = f ($V_{jet.}$, $\sigma_{ech.}$, $\tau_{ech.}$).
pour h = 35 mm; d = 2 mm.
Légende :
———— eau potable = δ 1,0.
— — — boue abrasive = δ 1,2.
Ech. 2/0 : calcaire Soignies.
Ech. 14/6 : quartzite Gr. Hall.
Ech. 43 : carbure W.
Ech. 44/1 : schiste B.
Ech. 49 : acier doux.
Ech. 51 : aluminium.

Slijtage door erosie = f ($V_{proj.}$, $\sigma_{monst.}$, $\tau_{monst.}$).
voor h = 35 mm; d = 2 mm.

Legende :

———— drinkwater = δ 1,0.
— — — abrasiefslik = δ 1,2.
Monster 2/0 : kalksteen Soignies.
Monster 14/6 : kwartsiet Gr. Hall.
Monster 43 : W-carbide.
Monster 44/1 : schiefer B.
Monster 49 : zacht staal.
Monster 51 : aluminium.
conditions d'essai = proefomstandigheden.
eau (boue) = water (slik).
vitesse du jet = projectiesnelheid.

des roches (surtout si l'on peut réaliser des vitesses de projection supérieures ou égales à 30 m/s pour l'eau, seuil à partir duquel l'attaque est particulièrement importante).

Enfin, l'abaissement de la tension superficielle du fluide de curage devrait, à notre avis, exercer une influence favorable sur le découpage ou le forage. En effet, si l'eau — ou la boue ordinaire — dont la tension superficielle est de l'ordre de 70 dynes/cm, ne peut pratiquement pas pénétrer dans les microfissures pour y amorcer la désagrégation de la roche, l'eau additionnée d'un agent mouillant peut effectuer une pénétration dont les effets pourraient, à notre avis, entraîner un accroissement de 30 à 300% de la vitesse de de forage ou de découpage, dans certains cas.

La figure 18 montre l'intérêt pratique de l'utilisation de mouillants proprement dits plutôt que d'électrolytes, afin d'éviter les risques de surdosage.

kan komen tot een projectiesnelheid gelijk aan of groter dan 30 m/s voor water, een drempel waarboven het snijden bijzonder interessant wordt).

Tenslotte zou een verlaging van de oppervlaktespanning van de spoeling ons inziens een gunstige invloed moeten hebben op het snijden en het boren. Zo immers water — of gewoon slik — met een oppervlaktespanning van de orde van 70 dynes/cm praktisch niet kan binnendringen in de microspleten en er de afbraak van de rots in gang zetten, kan water dat gemengd is met een bevochtigingsmiddel op zodanige wijze binnendringen dat ten gevolge daarvan in sommige gevallen een verhoging van de boorsnelheid met 30 tot 300 % kan bekomen worden.

Figuur 18 geeft het praktisch belang dat eigenlijke bevochtigingsmiddelen hebben boven de elektrolyten, inzake het vermijden van overdosering.

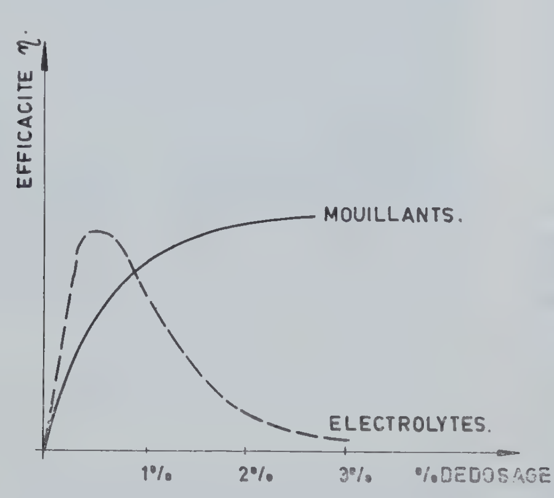


Fig. 18.

efficacité = doeltreffendheid.
mouillants = bevochtigingsmiddelen.
electrolytes = elektrolyten.
dosage = dosering.

Dans un autre ordre d'idées, nous projetons de collaborer à des essais d'outils auto-affûtants, envisagés d'après nos suggestions par M. Georges Gauthier, aux Carrières Gauthier-Wincqz, à Soignies. La suppression de l'opération de réaffûtage périodique, en diminuant les dépenses d'entretien et en augmentant le coefficient d'utilisation de la machine de découpage, serait la source d'économies importantes. Nous envisageons enfin d'étudier l'adaptation d'outils diamantés aux machines de découpage.

Op een ander vlak denken wij mee te werken bij proeven met zelfslijpende werktuigen, proeven die op ons voorstel in overweging genomen werden door de Hr. Georges Gauthier, van de Groeven Gauthier-Wincqz te Soignies. Het afschaffen van het periodisch slijpen zou, door vermindering van de onderhoudskosten en vermeerdering van de benuttingsgraad van de machine, een belangrijk voordeel opleveren. Tenslotte denken wij aan het gebruik van diamantsnijwerktuigen op de snijmachines.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] BRISON, L. et BRYCH, J. — « L'abrasivité des roches ». **Revue de l'Industrie Minérale**, janvier 1970.

[2] BRYCH, J. — « Choice of regime in chill-shot drilling ». **Geological Survey**, N° 4, 1960.

[3] BRYCH, J. — « Fondements de la théorie des outils à concrétion diamantée ». **Thèse V.S.B. à Ostrava**, mars 1967.
« Optimum regime of boring by impregnated diamond tools ». **Geological Survey**, N° 6, 1966.

[4] SCHREINER-PETROVA. — « Propriétés mécaniques et abrasives des roches ». 1958.

[5] HOFRICHTER-BROUL. — « Laboratory investigation of the mechanical properties of rocks ». **Geological Survey**, n° 8, 1964.

[6] BRYCH-TKANY. — « Exécution de sondages d'injection à l'aide d'outils diamantés » — **Compte rendu du congrès international « Voiles d'injection dans les constructions des parois souterraines »**, Brno 1967.

Etude de la détonation et de ses effets dans les matériaux condensés

Studie van de detonatie en haar gevolgen in dichte materialen

L. DEFFET & C. FOSSÉ *

RESUME

La première partie de l'exposé traite d'études réalisées en laboratoire sur le comportement de charges détonant au contact d'un matériau transparent; l'examen par photographie ultra-rapide et par radiographie-éclair a fourni des résultats intéressants concernant l'influence de la localisation de la charge initiante sur la structure de l'onde de détonation dans l'explosif et de l'onde de choc dans le milieu environnant.

Dans une deuxième partie de l'exposé, l'auteur présente les résultats des essais réalisés sur des blocs de béton soumis à l'action simultanée de plusieurs charges linéaires de faible diamètre.

INHALTSANGABE

Im ersten Abschnitt des Aufsatzes werden Laboratoriumsversuche über das Detonationsverhalten von Sprengladungen bei Beobachtung durch ein transparentes Material geschildert. Aufnahmen mit einer Ultra-Schnellbildkamera und radiographische Untersuchungen ergaben interessante Aufschlüsse über den Einfluß der Lage der Initialladung auf die Detonationswelle im Sprengstoff und die Stoßwelle in dem umgebenden Medium.

SAMENVATTING

Het eerste deel van de uiteenzetting handelt over laboratoriumstudies op gebied van het gedrag van ladingen die in kontakt met een doorschijnend materiaal detoneren; het ultra-snel fotografisch en het bliksemradiografisch onderzoek hebben interessante uitslagen opgeleverd betreffende de invloed van de juiste plaats van de ontstekingslading op de structuur van de detonatiegolf in de springstof en van de schokgolf in het omgevend milieu.

In een tweede deel van de uiteenzetting stelt de auteur de uitslagen voor van proeven die zijn uitgevoerd op betonblokken, die de gelijktijdige werking van verscheidene lineaire ladingen met kleine doormeter hebben ondergaan.

SUMMARY

The first part of the report deals with research carried out in the laboratory on the behaviour of the charges detonating on contact with a transparent material; examination by high-speed photography and radiography yielded interesting results regarding the influence of the localization of the initiating charge on the structure of the detonation wave in the explosive and of the shock wave in the immediate vicinity

* Respectivement Directeur et Chef de Service. Centre de Recherches Scientifiques et Techniques pour l'Industrie des Produits Explosifs. Val-du-Bois, 120. B-1960 Sterrebeek.

* Respectievelijk Directeur en Diensthoofd. Centrum van Wetenschappelijke en Technische Opzoekingen voor Industriële Ontplofbare Produkten. Val-du-Bois, 120, B-1960 Sterrebeek.

Im zweiten Teil des Aufsatzes werden die Ergebnisse von Versuchen an Betonblöcken geschildert, die gleichzeitig der Einwirkung mehrerer linearer Ladungen von geringem Durchmesser ausgesetzt wurden.

In the second part of the report, the author gives the results of tests carried out on blocks of concrete subjected to the simultaneous action of several linear charges of small diameter.

INTRODUCTION

La mise en œuvre d'explosifs à sensibilité relativement peu élevée et entre autres, du mélange nitrate d'ammonium-fuel oil, pose divers problèmes d'amorçage de la détonation et d'adaptation à la roche à abattre.

La première partie de l'exposé traite d'études réalisées en laboratoire sur le comportement de charges détonant au contact d'un matériau transparent; l'examen par photographie ultra-rapide et par radiographie-éclair a fourni des résultats intéressants concernant l'influence de la localisation de la charge initiante sur la structure de l'onde de détonation dans l'explosif et de l'onde de choc dans le milieu environnant.

Dans une deuxième partie de l'exposé, nous présentons les résultats des essais réalisés sur des blocs de béton, soumis à l'action simultanée de plusieurs charges linéaires de faible diamètre.

EFFETS PRODUITS AU VOISINAGE IMMEDIAT DE LA CHARGE

Pour introduire l'étude de la fracturation d'un milieu solide homogène sous l'effet de la détonation d'une charge cylindrique d'explosif, il nous a paru intéressant d'examiner quelques aspects particuliers des phénomènes se produisant dans l'explosif ou au voisinage immédiat de celui-ci, puisque c'est d'eux que dépendront, en partie du moins, les résultats pratiques du tir.

La figure 1 montre la structure classique de l'onde de détonation dans une charge cylindrique de 50 mm de diamètre. Cette charge est constituée de nitrate d'ammonium-fuel oil. La zone à forte intensité lumineuse, visible au milieu du cylindre, résulte principalement de la compression de l'air entre les billes de nitrate d'ammonium sous l'effet de l'onde de choc. La charge a été mise en régime de détonation stable par un relais de dynamite placé à une extrémité du cylindre; sa vitesse de détonation est d'environ 2.300 m/s.

INLEIDING

Gebruikt men betrekkelijk weinig gevoelige springstoffen en onder andere een mengsel van ammoniumnitraat en fuel, dan stellen er zich verschillende problemen in verband met de ontsteking en de aanpassing aan het af te bouwen gesteente.

Het eerste deel van de uiteenzetting handelt over laboratoriumstudies over het gedrag van ladingen die detoneren in een doorschijnend materiaal; het ultra-snel fotografisch en het bliksemradiografisch onderzoek hebben interessante resultaten opgeleverd over de invloed van de juiste plaats der ontstekingslading op de structuur van de detonatiegolf in de springstof en van de schokgolf in het omgevend milieu.

In het tweede gedeelte vermelden wij de resultaten van proeven uitgevoerd op betonblokken, die de gelijktijdige werking ondergaan van verschillende lineaire ladingen met kleine doormeter.

GEVOLGEN VOELBAAR IN DE ONMIDDELLIJKE OMGEVING VAN DE LADING

Als inleiding bij de studie van de afbrokkeling van een vast homogeen midden onder invloed van de detonatie van een cilindrische springlading, leek het ons interessant bijzondere gezichtspunten te ontleden van de verschijnselen die optreden in de springstof of in haar onmiddellijke omgeving, want daarvan hangt althans een gedeelte van het praktisch resultaat van het springwerk af.

Figuur 1 geeft de klassieke structuur van de detonatiegolf in een cilindrische lading met een doormeter van 50 mm. Deze lading bestaat uit ammoniumnitraat en fuel. De hevig lichtende zone die men in het midden van de cilinder ziet komt hoofdzakelijk voort van de samendrukking van de lucht tussen de ammoniumnitraatkorrels, onder invloed van de schokgolf. De lading werd in stabiel detonatieregime gebracht door een dynamietrelais aan één uiteinde van de cilinder; het heeft een detonatiesnelheid van ongeveer 2.300 m/s.



Fig. 1.

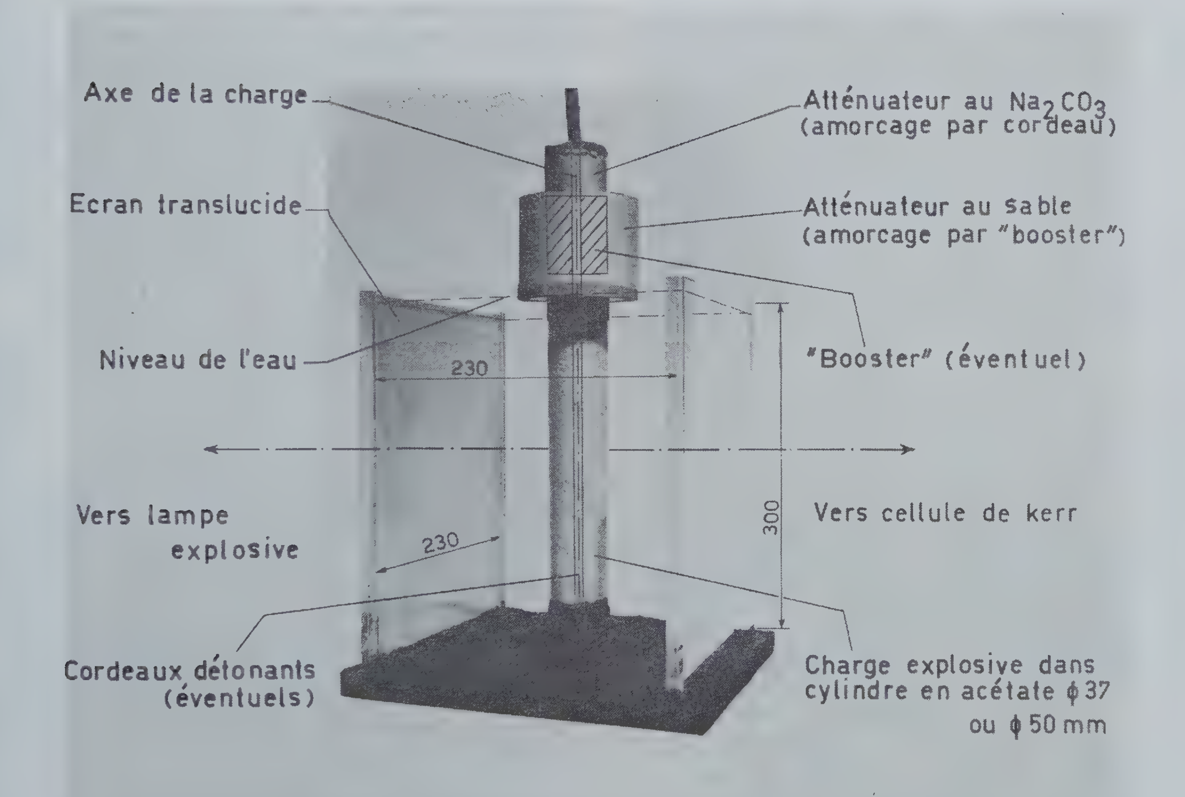


Fig. 2.

Axe de la charge = as van de lading.
Ecran translucide = doorschijnend scherm.
Niveau de l'eau = waterpeil.
Vers lampe explosive = naar de springlamp.
Cordeaux détonants (éventuels) = (eventueel) slagkoorden.
Atténuateur au Na_2CO_3 ... = demper met Na_2CO_3 (ontsteking met slagkoord).
Atténuateur au sable (...) = demper met zand (ontsteking met « booster »).
« Booster » (éventuel) = (eventueel) « booster ».
Vers cellule de Keer = naar Kerr-cel.
Charge explosive ... = Springlading in acetaat cilinder Ø 37 of 50 mm.

L'onde de choc issue de la rencontre de l'onde de détonation avec le milieu environnant est visible de part et d'autre du cylindre. La vitesse de propagation de cette onde de choc peut être calculée si l'on a pris soin de mesurer la vitesse de détonation suivant l'axe de la charge et de mesurer l'angle formé par l'onde de choc avec l'axe de la charge.

On peut dès lors calculer la pression développée dans l'onde de choc au voisinage de l'explosif, grâce à l'équation classique qui exprime que la pression dans l'onde de choc, $P = \Delta.D.W$, est égale au produit de la densité initiale du milieu par la vitesse de choc par la vitesse matérielle. Cette relation est bien connue pour les milieux transparents servant en général pour l'observation des ondes de choc, ainsi que pour un grand nombre de matériaux solides. Le dispositif expérimental utilisé pour réaliser cet enregistrement est présenté sur la figure 2. C'est un récipient en plexiglas, dont deux faces au moins sont transparentes et parallèles, et qui est rempli d'eau; la charge en occupe le milieu. Ce dispositif permet d'assurer un confinement complet de la charge tout en permettant la photographie. L'enregistrement instantané est réalisé au moyen d'un appareil photographique muni d'un obturateur ultra-rapide (temps d'ouverture de 0,1 microseconde) à cellule de Kerr, conjugué avec une lampe explosive à émission ultra brève. On obtient ainsi simultanément une photographie par ombres classique sur laquelle se détache par surimpression la zone lumineuse produite par l'onde de détonation.

Sur ce montage, on a reproduit les deux types d'amorçage qui ont été étudiés : celui par relais de dynamite et celui par cordeau détonant parcourant l'axe de la charge.

Ce deuxième système est couramment employé surtout en carrières, pour amorcer le nitrate-fuel. La question, fort controversée, de l'avantage de l'un ou l'autre procédé d'amorçage nous a conduits à poursuivre l'étude dans cette voie.

La figure 3 est une radiographie instantanée montrant la détonation d'un cordeau détonant dans l'axe d'une charge de NA-FO. La charge est donc amorcée dans son axe, avec la vitesse initiale du cordeau. Cependant, on constate que l'onde de détonation (zone comprimée) formée dans le NA-FO a tendance à s'incurver, son enveloppe devenant presque tangente à l'interface explosif-confinement. Ceci pourrait être dû au ralentissement de la réaction, d'autant plus important que l'on s'éloigne de l'axe de la charge.

La figure 4 montre la photographie instantanée du phénomène. La zone de réaction lumineuse

De schokgolf die het gevolg is van de aanraking van de detonatiegolf met de omgeving is zichtbaar aan weerszijden van de cilinder. De voortplantingssnelheid van deze schokgolf kan berekend worden als men ervoor gezorgd heeft de detonatiesnelheid te meten volgens de as van de lading alsook de hoek tussen de schokgolf en de as van de lading.

Vervolgens kan men de druk berekenen die in de schokgolf bestaat in de nabijheid van de springstof, dank zij de klassieke vergelijking die uitdrukt dat de druk in de schokgolf, $P = \Delta\, D.W$, gelijk is aan het produkt van de initiale dichtheid van het midden met de materiële snelheid van de schok. Deze vergelijking is goed bekend voor de doorschijnende middens die meestal dienen voor het waarnemen van schokgolven alsook voor een groot aantal vaste stoffen. De proefinstallatie waarmee dit geregistreerd wordt, wordt voorgesteld in figuur 2. Het is een vat in plexiglas waarvan tenminste twee vlakken doorschijnend en evenwijdig zijn, en dat gevuld is met water; de lading zit in het midden. Met dit toestel kan men de lading volledig insluiten terwijl het fotograferen mogelijk blijft. Het ogenblikkelijk registreren gebeurt met behulp van een fototoestel met ultra-snelle sluiter (openingstijd 0,1 microseconde) met een Kerr-cel, gekoppeld aan een springlamp met ultra-korte zendtijd. Zo bekomt men tegelijkertijd een klassieke schaduwfoto waarop door overdrukking de door de detonatiegolf veroorzaakte lichtzone zichtbaar wordt.

Op deze figuur heeft men de twee bestudeerde vormen van ontsteking afgebeeld : dynamietrelais en slagkoord langs de as van de lading.

Het tweede systeem wordt veel gebruikt, vooral in de groeven, om het nitraat-fuelmengsel te ontsteken. Het is de betwisting over de voordelen van beide systemen van ontsteking die ons heeft aangezet onze studies in die richting voort te zetten.

Figuur 3 is een bliksemradiografie die de ontsteking weergeeft van een slagkoord in de as van een lading NA-FO. De lading wordt dus ontstoken volgens de as, met de aanvankelijke snelheid van het slagkoord. Men ziet evenwel dat de detonatiegolf (zone van samendrukking) die in het NA-FO gevormd wordt, een neiging heeft om zich te krommen, waarbij haar buitenwand bijna tangentieel wordt ten opzichte van het scheidingsvlak tussen springstof en omgeving. Dit zou kunnen te wijten zijn aan een vertraging van de reactie, die des te belangrijker wordt naarmate men verder van de as van de lading verwijderd is.

Figuur 4 toont de ogenblikkelijke foto van het verschijnsel. De zone van lichtgevende reactie



Fig. 3.



Fig. 4.

s'étend sur presque toute la longueur de la charge, tandis que l'inclinaison de l'onde de choc est sensiblement modifiée. Nous avons ainsi comparé la pression de choc transmise à l'eau dans différentes conditions de détonation.

Ces expériences ne permettent toutefois qu'une mesure relative de la pression de choc à caractère transitoire transmise au milieu environnant et ce, dans des conditions de diamètre et de confinement qui restent assez éloignées de la pratique.

Elles doivent par conséquent être complétées par des mesures de l'énergie développée dans les gaz d'explosion; dans ce but, nous utilisons une méthode inspirée des travaux réalisés notamment aux USA, qui consiste à mesurer la période de pulsation de la bulle de gaz formée sous eau, à profondeur suffisante, par des charges de calibre beaucoup plus important. Nous devons à l'obligeance des carrières de Lessines d'avoir pu réaliser les premiers essais, dans une carrière immergée.

ESSAIS SUR MODELES DE BETON

Ce problème est plus directement rattaché à celui de la fragmentation.

Les essais que nous avons réalisés jusqu'à présent portent sur l'influence de charges linéaires d'explosifs de faible diamètre, introduites dans des blocs de béton à granulométrie fine. Ces charges dont le diamètre varie de 3 à 5 mm sont en général placées parallèlement à une surface libre

strekt zich over haast heel de lengte van de lading uit, terwijl de helling van de schokgolf merkelijk gewijzigd is. Op die manier hebben wij een vergelijking gemaakt tussen de druk die door de schok op het water wordt overgebracht in verschillende omstandigheden van ontploffing.

Toch maken deze proeven slechts een betrekkelijke meting mogelijk van de voorbijgaande schokdrukking die aan de omgeving wordt doorgezonden en dan nog in omstandigheden van doormeter en insluiting die tamelijk erg verschillen van de praktische werkelijkheid.

Ze moeten dus worden aangevuld met metingen van de in de ontploffingsgassen ontwikkelde energie; daartoe passen wij een methode toe die berust op in de USA uitgevoerde onderzoekingen en die bestaat in het meten van de pulsatieperiode van de gasbel die onder water, op een voldoende diepte, gevormd wordt door veel krachtiger ladingen. Het zijn de groeven van Lessen die het ons mogelijk maakten de eerste proeven uit te voeren in een ondergelopen kuil.

PROEVEN OP BETONMODELLEN

Dit probleem houdt meer rechtstreeks verband met dat van de afbrokkeling.

De proeven die wij tot nu toe uitgevoerd hebben, hebben betrekking op de invloed van lineaire ladingen met kleine doormeter die ingesloten zijn in blokken uit fijnkorrelig beton. Meestal worden deze ladingen, die een doormeter hebben gaande van 3 tot 5 mm, evenwijdig geplaatst met een frontaal vrij vlak (fig. 5). Aan de zijdelings

frontale (fig. 5). Les surfaces libres latérales ne sont pas retenues au cours de l'essai.

gelegen vrije vlakken wordt tijdens de proef geen aandacht besteed.

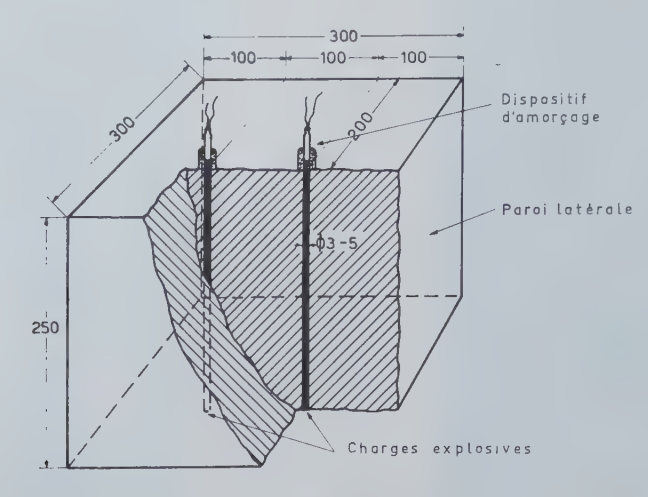


Fig. 5.
Dispositif d'amorçage = ontstekingsapparatuur.
Paroi latérale = zijwand.
Charges explosives = springladingen.

Les paramètres étudiés sont la vitesse de détonation de l'explosif (on a étudié notamment des explosifs à vitesse de détonation de 2.000 et de 6.000 m/s, dans ces conditions de diamètre), le décalage dans le temps de mise à feu des charges et l'influence de l'inclinaison de la charge par rapport à la surface libre, ceci en corrélation avec le développement de la fragmentation et la vitesse de projection des fragments. On a essayé pour ces essais de s'en tenir à une échelle de 1/20e par rapport à la pratique. Les résultats ont été présentés sous forme d'un court métrage groupant les enregistrements réalisés à la cadence de prise de vue de 7.000 images/s.

Les figures 6, 7 et 8 sont extraites de ces enregistrements:

— la figure 6 montre l'effet d'un explosif rapide sur l'état de la fragmentation, 3 millisecondes après la mise à feu des deux charges;
— la figure 7 montre l'effet d'un décalage de 1/2 milliseconde dans la mise à feu des deux charges;
— la figure 8 est extraite d'un enregistrement réalisé au cours d'un essai mettant en œuvre 4 charges parallèles, bourrées dans leur partie supérieure.

On a constaté une influence très nette de la vitesse de détonation sur la fragmentation de l'échantillon, l'explosif lent donnant lieu à une fragmentation plus grossière.

Volgende parameters worden bestudeerd; de detonatiesnelheid van de springstof (men heeft bij voorbeeld springstoffen bestudeerd die in de gegeven omstandigheden van doormeter detonatiesnelheden hadden van 2.000 en van 6.000 m/s), het tijdsverloop tussen de ontstekingen van de ladingen en de invloed van de helling der lading ten opzichte van het vrije vlak, dit in verband met de bevordering van de afbrokkeling en de snelheid waarmee de brokstukken worden weggeslingerd. Voor deze proeven heeft men getracht het te houden bij een schaal van 1/20e ten opzichte van de werkelijkheid. De resultaten werden voorgesteld onder vorm van een korte film die de opnamen weergeeft, met een frequentie van 7.000 beelden per seconde opgenomen.

De figuren 6, 7 en 8 zijn uittreksels van deze opnamen :

— figuur 6 toont het gevolg van een snelle detonatie op de verbrokkeling, 3 milliseconden na het afvuren van beide ladingen;
— figuur 7 geeft de invloed van een verschuiving van 1/2 milliseconde tussen de twee afvuringen;
— figuur 8 is een uittreksel van een opname gedaan met een proef met 4 evenwijdige ladingen die in het bovenste gedeelte waren opgestopt.

Men stelde vast dat er een zeer duidelijke invloed bestaat van de detonatiesnelheid op de verbrokkeling van het monster, waarbij de trage springstof een grovere verbrokkeling oplevert.



Fig. 6.



Fig. 7.

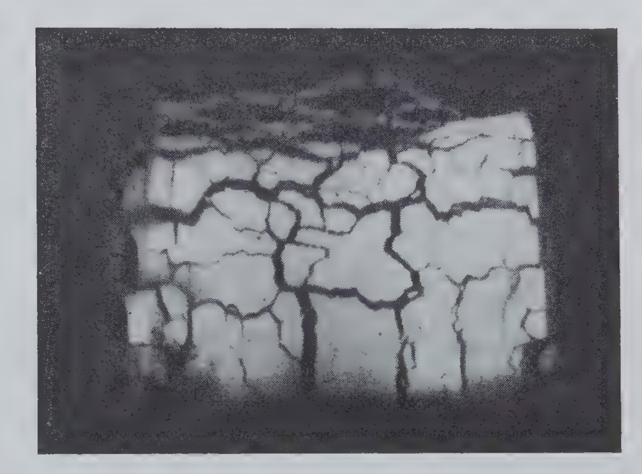


Fig. 8.

CONCLUSION

Chacun des exemples cités constitue à lui seul un sujet d'étude et n'a d'autre ambition que de présenter les méthodes de travail que nous utilisons, sans vouloir pour autant apporter une solution définitive aux problèmes posés.

BESLUIT

Elk van de aangehaalde voorbeelden betekent een studieonderwerp op zichzelf en heeft geen andere bedoeling dan U in kennis te stellen van de werkmethoden die wij volgen, zonder dat er bedoeld wordt het gestelde probleem definitief op te lossen.



La fragmentation secondaire par charges appliquées

Het verbrijzelen van steenblokken door middel van opgelegde springstofladingen

P. GOFFART *

RESUME

Dans les exploitations de carrières où il s'agit de morceler la pierre, le problème de la fragmentation secondaire reste souvent épineux. Les engins lourds de chantier ne viennent à bout que de certaines pierres, et ne sont d'ailleurs pas utilisables partout. Le pétardage classique par forage, chargement et bourrage des trous comporte des opérations de longue durée, des travaux manuels pénibles, et certains risques spéciaux.

Le procédé par charges appliquées procure en principe de nombreux avantages, mais l'explosif utilisé doit être sûr à l'emploi, efficace et permettre la rentabilité.

L'auteur présente la « Pétardite », explosif brisant difficilement inflammable qui vient à bout de toutes les roches exploitées à ciel ouvert en Belgique.

Il rend compte de l'expérience industrielle acquise en 1970 par des exploitants de pierres calcaire, quartzitique et porphyrique, qui ont adopté le procédé.

SAMENVATTING

In de steengroeven waar de steen moet verbrijzeld worden, is het breken van de afgeslagen steenblokken nog dikwijls een probleem. De zware machines die op de werf gebruikt worden, kunnen niet alle steensoorten aan en kunnen trouwens niet overal gbruikt worden. Het klassieke schieten, met het boren, laden en opstoppen van mijngaten, vergt veel tijd, zwaar handwerk en levert speciale risico's op.

Het schieten met opgelegde springstofladingen biedt in beginsel heel wat voordelen, maar de gebruikte springstof moet veilig en doeltreffend kunnen gebruikt worden en een voldoende rendement mogelijk maken.

De auteur handelt over het gebruik van « Pétardite », een moeilijk ontvlambare brisante springstof, die alle in België in open groeven ontgonnen steensoorten aankan.

Hij brengt verslag uit over de industriële ondervinding die de ontginners van kalk-, kwartsiet- en porfiersteen in 1970 hebben opgedaan.

INHALTSANGABE

In Steinbrüchen, wo das Haufwerk grobstückig anfällt, bringt die Nachzerkleinerung oft erhebliche Schwierigkeiten mit sich. Die schweren Lade-

SUMMARY

In the working of quarries where the stone has to be broken up, the problem of secondary fragmentation often remains a difficult one. The heavy

* Ingénieur principal divisionnaire au Corps des Mines (Administration centrale des Mines, Service des explosifs) chargé de la direction du groupe « Explosifs » de l'INIEX, 24-26, rue De Mot, B-1040 Bruxelles.

* Eerstaanwezend divisiemijningenieur bij het Mijnkorps (Administratie van het Mijnwezen, Dienst der Springstoffen), belast met de directie van de afdeling « Springstoffen » van het NIEB, 24-26 De Mot Straat, B-1040 Brussel.

maschinen können nur Brocken von einer bestimmten Größe fassen und lassen sich außerdem nicht überall einsetzen. Die herkömmliche Form des Knäpperschießens mit Bohrlöchern ist langwierig, erfordert mühsame Handarbeit und ist nicht ungefährlich.

Demgegenüber bietet das Freisteinschießen mit aufgelegten Ladungen grundsätzlich mehrere Vorteile; allerdings darf man dazu nur einen betriebssicheren und wirksamen Sprengstoff verwenden, der die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens sichert.

Der Verfasser berichtet über Erfahrungen mit einem hochbrisanten und schwer entzündbaren Spezialsprengstoff für Knäpperschießen, « Pétardite », der sich für sämtliche in Belgien im Tagebau gewonnenen Gesteinsarten eignet. Er gibt einen Überblick über die Ergebnisse, die im Jahre 1970 mit dieser Form des Freisteinschießens in Kalkstein, Quarz und Porphyr erzielt worden sind.

machines in the working places can only cope with certain stones and, moreover, cannot be used everywhere. Orthodox blasting by means of drilling, loading and filling the boreholes involves lenghthy operations, hard manual work and certain particular risks.

The process by applied loads generally speaking affords many advantages, but the explosive used must be safe, efficient and profitable.

The author presents the « Pétardite », an explosive which breaks, does not easily ignite and can cope with all the rocks in open-cast workings in Belgium.

He gives an account of the industrial experience acquired in 1970 by quarry managers dealing with calcareous stones, quartz and porphyry by this process.

En 1961, dans une conférence intitulée « Examen des différentes phases du tir en masse » *, M. Tasset, Directeur des exploitations des Carrières et Fours à Chaux de la Meuse, abordait subsidiairement le problème du débitage des trop gros blocs, c'est-à-dire la fragmentation secondaire.

A cette occasion, il déplorait que les carriers belges ne disposassent point d'un accessoire explosif « cumulant les avantages d'un usage simple et rapide, d'un fractionnement sans déchets et pouvant être employé partout où l'air comprimé fait défaut ». Eu égard, d'une part, aux méthodes conventionnelles de forage, de chargement et de tir, d'autre part, aux engins mécaniques capables de casser la pierre, l'auteur entrevoyait, en tant que technicien responsable de plusieurs exploitations de pierre calcaire, de nombreux avantages dans l'application d'un procédé qui dispenserait à la fois d'investissements, d'entretiens, de travaux manuels pénibles et de toute source d'énergie autre que l'explosif à disposer sur les blocs à débiter.

L'occasion nous a été donnée en 1968 de concevoir une solution à ce problème, solution que nous avons voulue générale, c'est-à-dire applicable à toutes les espèces de pierres rencontrées en Belgique, y compris celles qui, jusqu'à nouvel ordre, sont encore nombreuses à résister aux engins mécaniques de cassage.

* cf. « Explosifs », 15e année, n° 1, janvier-mars 1962, pp. 11-24.

In 1961, in een voordracht met als titel « Examen des différentes phases du tir en masse » (*), handelde de H. Tasset, directeur van de ontginningswerken van « Carrières et Fours à chaux de la Meuse », ook over het probleem van het verbrijzelen van al te dikke steenblokken, door het primair schietwerk opgeleverd.

Hij vond het toen jammer, dat de Belgische groefbedrijven geen springstof ter beschikking hadden die op een snelle en eenvoudige manier kon gebruikt worden, die bij het verbrijzelen van de steenblokken geen afval opleverde en die tevens overal zou kunnen gebruikt worden waar geen perslucht voorhanden is. Gelet op de conventionele boor-, laad- en afvuurmethodes van de ene kant en op de mechanische tuigen die sterk genoeg zijn om de steen te verbrijzelen van de andere kant, zag de spreker, als technicus belast met de leiding van verscheidene kalksteengroeven, heel wat voordelen in de toepassing van een procédé dat geen investeringen vergt, geen onderhoud, geen zwaar handwerk en geen andere energiebron dan de springstof die op de steenblokken aangebracht wordt.

In 1968 is het ons gegeven geweest een oplossing voor dat probleem te bedenken, een oplossing die wij opzettelijk algemeen hebben willen houden, d.w.z. geldend voor alle steensoorten die in België gevonden worden, ook voor de vele soorten waarop de mechanische tuigen tot nog toe geen vat hebben.

* Zie « Explosifs » — 15de jaargang, nr 1, januari-maart 1962, pp. 11-24.

En conclusion d'essais que nous avons menés en chantiers réels divers pendant plus d'un an, les exploitants de carrières se sont vu proposer la « Pétardite », explosif difficilement inflammable, pulvérulent, présenté en sachets étanches de polyéthylène contenant 250 g ou 500 g (largeurs à plat de 80 et 105 mm respectivement). Ces gargousses, amorcées par un moyen classique quelconque, détonent à l'air libre avec une vélocité d'onde de l'ordre de 4000 m/s, en produisant une forte impulsion de choc et de fumées sur leur support. Judicieusement utilisées, elles permettent de venir à bout des blocs des pierres les plus dures rencontrées en Belgique, aussi bien les roches « porphyriques » éruptives de la région de Quenast-Lessines que les roches sédimentaires telles que les calciares, grès et quartzites divers.

L'inconvénient du procédé par charges appliquées est l'ébranlement aérien consécutif au tir : effets de souffle et onde sonore intense. Le fait de couvrir les charges au moyen de sable, argile, classé 0-2 mm, en accroît l'efficacité et atténue les effets dans l'air. Chaque utilisateur doit se faire sa propre expérience en fonction de l'isolement et de la conformation du site de minage. Par ailleurs, il sera peut-être possible de trouver des dispositifs valables pour étouffer davantage les coups des explosions.

Nous présentons aujourd'hui quelques exemples de tirs exécutés industriellement par des exploitants qui ont adopté le procédé à la « Pétardite ».

1. PETARDAGES EN ROCHE PORPHYRIQUE

Au siège de Bierghes des Carrières Unies de Porphyre, toute la fragmentation secondaire se fait par charges en gargousses de 500 g posées sur les blocs.

Lors de nos essais préalables dans cette carrière, en couvrant les charges au moyen de terre glaise, nous avions déterminé qu'il fallait quinze fois plus de « Pétardite » en charges appliquées que de dynamite bourrée en trou de mine, d'où une règle facile à suivre par le mineur habitué à apprécier les nombres et profondeurs des fourneaux à forer ainsi que les charges à y placer. Nous avions aussi constaté, comme partout ailleurs, que, sauf bloc de longueur beaucoup plus grande que ses autres dimensions, il y avait intérêt à concentrer la charge.

En opérant à l'échelon industriel, la direction de la carrière a vu avantage:

Tot besluit van de proeven die wij gedurende meer dan een jaar in verschillende werven geleid hebben, hebben de ontginners van steengroeven «Pétardite» aangeboden gekregen, een poedervormige moeilijk ontvlambare springstof, verpakt in dichte zakjes van polyethyleen die 250 of 500 g springstof bevatten (plat onderscheidenlijk 80 en 105 mm breed).

Met een klassiek middel aangezet, ontploffen deze kardoezen in de vrije lucht met een detonatiesnelheid van nagenoeg 4000 m/s; zij geven een sterke schok- en rookimpuls op het vlak waarop zij liggen. Oordeelkundig gebruikt, zijn zij krachtig genoeg om blokken van de hardste steensoorten die in België gevonden worden te verbrijzelen, zowel de eruptieve « porfiersteen » van de streek van Quenast-Lessen, als de sedimentaire gesteenten zoals kalksteen, zandsteen en allerhande kwartsietsteen.

Het grote nadeel van het procédé van opgelegde springstofladingen is de geweldige uitwerking in de lucht die door het afvuren veroorzaakt wordt: hevige luchtverplaatsing en sterke geluidsgolf. Door de ladingen met zand, klei, steengruis 0 - 2 mm te bedekken, verhoogt men de doeltreffendheid en mildert men de uitwerking in de lucht. Iedere gebruiker moet dat zelf ondervinden naar gelang van de ligging en de gesteltenis van de plaats waar geschoten wordt. Van de andere kant zullen misschien doeltreffende middelen kunnen gevonden worden om de slagen van de ontploffingen beter te dempen.

Hierna geven wij enkele voorbeelden van exploitanten die het procédé met « Pétardite » op industriële schaal toegepast hebben.

1. HET VERBRIJZELEN VAN PORFIERSTENEN

In de zetel van Bierghes van de « Carrières Unies de Porphyre » worden al de afgeslagen steenblokken verbrijzeld door middel van kardoezen van 500 g die op de blokken gelegd worden.

Tijdens voorafgaande proeven in deze groef, waarbij de springstofladingen met potaarde bedekt werden, waren wij tot het besluit gekomen dat vijftien maal meer « Pétardite » in opgelegde ladingen nodig was dan dynamiet dat in mijngaten gestopt werd, wat een eenvoudige regel is voor de schietmeester die gewoon is het aantal en de diepte van de mijngaten en het gewicht van de springstofladingen te schatten. Zoals overal elders hadden wij daar ook vastgesteld dat het best was de lading te concentreren, behalve voor blokken waarvan de lengte veel groter was dan de andere afmetingen.

Bij de toepassing op industriële schaal is de directie van de groef tot de bevinding gekomen dat het voordeliger was :

1°) à ne pas couvrir les charges, quitte à employer plus de gargousses par bloc;
2°) à ne pas dépasser 2,5 kg par explosion, les maisons les plus proches se trouvant à 300 m environ.

Comme l'amorçage se fait au cordeau détonant léger (6 g NP/m), on procède en entourant chaque charge, constituée d'une gargousse ou d'une botte de gargousses, au moyen d'un tour de cordeau, lequel réunit éventuellement plusieurs charges à concurrence d'un maximum de 2,5 kg; chaque brin de cordeau est muni d'un détonateur à mèche.

A noter que les blocs à casser, tels qu'ils gisent au pied du tas abattu par le tir primaire, ne sont pas tous chargés en même temps : dans un premier tour, le mineur en excepte certains destinés à faire écran entre leurs voisins; ces blocs négligés sont pétardés lors d'un second tour, de sorte qu'au total tout est cassé sans charge perdue par soufflage.

Par l'application de ce procédé, la fragmentation secondaire de la roche en cause, incassable par les moyens mécaniques actuels, requiert en permanence le travail d'un mineur, alors que précédemment les forages, chargements classiques et bourrages mobilisaient trois hommes pour une production identique.

1) de springstofladingen niet te bedekken en desnoods meer kardoezen per blok te gebruiken;
2) niet meer dan 2,5 kg per ontploffing te gebruiken, omdat er ongeveer 300 m verder huizen stonden.

De aanzetting gebeurt met lichte slagkoord (6 g NP/m); deze wordt éénmaal rond iedere lading, bestaande uit een kardoes of uit een bussel kardoezen, gewikkeld en verbindt eventueel verscheidene ladingen met een gewicht van ten hoogste 2,5 kg; ieder eindkoord wordt voorzien van een slagpijpje met een lont.

Opgemerkt zij, dat de blokken die moeten verbrijzeld worden en die aan de voet van de door het primair schietwerk opgeslagen hoop liggen, niet alle tegelijk geladen worden : in de eerste ronde laat de schietmeester er enkele liggen, die als scherm tussen de andere zullen fungeren; deze vergeten blokken komen in de tweede ronde aan de beurt, zodat alle stenen gebroken worden zonder dat sommige ladingen door de luchtverplaatsing verloren gaan.

Om deze stenen, die voor de huidige mechanische tuigen te hard zijn, met dit procédé te verbrijzelen, is er voortdurend één schietarbeider nodig, dan wanneer er vroeger voor het boren, het klassiek laden en opstoppen van de mijngaten drie mannen nodig waren voor dezelfde produktie.



Fig. 1.
Charges nues disposées sur blocs de porphyre.
Niet bedekte ladingen gelegd op porfierstenen.



Fig. 2.
Effets du tir des charges nues sur blocs de porphyre.
Uitwerking van het springen der niet bedekte ladingen op porfierstenen.

2. PETARDAGES EN ROCHE CALCAIRE

A la minière que la S.A. Carrières et Fours à Chaux Dumont-Wautier exploite à Hermalle-sous-Huy, on emploie les gargousses de 250 g et 500 g. Dans toutes les roches sédimentaires, la charge

2. HET VERBRIJZELEN VAN KALKSTENEN

In de graverij die de N.V. « Carrières et Fours à chaux Dumont-Wauthier » te Hermalle-sous-Huy exploiteert, gebruikt men kardoezen van 250 en van 500 g. In alle sedimentaire gesteenten moet

appliquée de « Pétardite » doit être au maximum dix fois plus importante que celle d'un classique pétard foré.

En utilisant des gargousses de 250 g et de 500 g, les mineurs ont à charger, le 25.11.1970, soixante blocs rassemblés sur une aire plane au pied du rocher.

Le matériel nécessaire : caisses de « Pétardite », poussier humide (récupéré des filtres à poussière) pour couvrir les charges, mèches diverses et détonateurs, est amené à pied d'œuvre par un véhicule de chantier tirant une remorque à deux roues. Une trentaine de kilogrammes sont répartis sur les blocs à casser (23,5 kg en 500 g et 7 kg en 250 g), le bloc le plus important, de quelque 2 m de hauteur, ayant reçu 1500 g en charge unique.

Chaque charge, avant d'être couverte d'un demi seau à un seau de poussier, suivant son importance, est munie d'un détonateur serti sur brin de mèche lente de 50 cm de longueur. Le détonateur est inséré par piquage dans la poudre à travers le polyéthylène de l'enveloppe. L'extrémité libre du brin de mèche à combustion lente est connectée à une mèche rapide, brûlant à environ 5 s/m, qui forme un circuit d'allumage des mèches lentes. Ainsi, les différentes charges ne sauteront pas en même temps, de façon à limiter l'ébranlement aérien.

Le tir donne des résultats industriellement parfaits; aucune des soixante charges n'est soufflée par une voisine explosant avant elle. Pour sa préparation, deux hommes avaient travaillé ensemble pendant deux heures (30 minutes de préparatifs et 1 h 30 pour le chargement).

D'autre part, une autre minière de pierre calcaire, située dans le Tournaisis, a bien voulu nous

de opgelegde Pétarditelading ten hoogste tien maal groter zijn dan een klassieke geboorde springstoflading.

Op 25 november 1970 moeten de schietarbeiders zestig blokken verbrijzelen die aan de voet van de rots op een vlak veld lagen. Zij gebruikten kardoezen van 250 en van 500 g.

Het nodige materieel : kisten « Pétardite », vochtig stof (uit de stoffilters) om de ladingen te bedekken, allerlei lonten en slagpijpjes werd aangevoerd met een werfvoertuig dat een tweewielige aanhangwagen trok. Een dertig kilogram springstoffen werden over de blokken verdeeld (23,5 kg in kardoezen van 500 g en 7 kg in kardoezen van 250 g); het grootste blok, dat ongeveer 2 m hoog was, had één enkele lading van 1500 g gekregen.

Alvorens de ladingen met een halve tot een volle emmer steenstof bedekt worden, volgens de grootte, worden zij ieder voorzien van een slagpijpje dat op een traagbrandende lont van 50 cm lengte geknepen is. Het slagpijpje wordt door het omhulsel van polyethyleen heen in het poeder gestoken. Het vrije uiteinde van de traagbrandende lont wordt verbonden met een snelbrandende lont van ongeveer 5 s/m, die een kring vormt waarmee de traagbrandende lonten aangestoken worden. Aldus zullen de verschillende ladingen niet tegelijk springen en zal de luchtverplaatsing beperkt worden.

De uitslagen van het schietwerk zijn industrieel gezien volmaakt; van de zestig ladingen is geen enkele weggeblazen door een naburige die eerder tot ontploffing kwam. Om alles klaar te maken hadden twee arbeiders elk twee uren gewerkt (30 minuten voor de voorbereidselen en 1 uur 30 minuten voor het laden).

Van de andere kant heeft een andere kalksteen-



Fig. 3.
Charges couvertes disposées sur blocs de pierre calcaire.
Bedekte ladingen gelegd op kalkstenen.



Fig. 4.
Effets du tir des charges de la photo n° 3.
Uitwerking van het springen der ladingen van foto nr. 3.

communiquer les prix de revient calculés sur un ensemble d'une cinquantaine de blocs cassés avec 23 kg de « Pétardite ». Le tir avait été une réussite complète : blocs inférieurs à 4-5 m³ entièrement fractionnés, blocs plus gros suffisamment fissurés pour que la manipulation par pelle mécanique en parachève la fragmentation. Dans ces conditions, le prix de revient moyen pour le cassage d'un bloc descend de 42,50 F dans le cas du forage classique (dont 36 F de main-d'œuvre) à 30 F grâce à nos charges appliquées (dont 15 F de main-d'œuvre : préparation des mèches et détonateurs, collecte de la boue, placement des charges et de leurs couvertures). Le coût de la « Pétardite » utilisée est cinq fois plus élevé que celui de la dynamite qui autrement serait nécessaire.

3. PETARDAGES EN QUARTZITE

A la carrière que la S.A. Sagrès exploite près de Saint-Hubert, la roche quartzitique est particulièrement dure et abrasive.

Nous y avons assisté le 25-11-1970 à deux tirs secondaires, effectués le premier directement sur le tas abattu par le tir primaire, le second sur une aire plane au pied du rocher.

L'isolement du site permet de ne pas devoir limiter la quantité d'explosif qui saute en même temps. On n'emploie que des gargousses de 500 g, chacune étant munie préalablement d'un brin de 30 cm de cordeau léger (6 g NP/m) piqué dans la poudre à travers le polyéthylène de l'enveloppe, à laquelle il est solidement fixé par pinçage d'une attache métallique en V. Les charges sont posées sur les blocs de façon « concentrée »; s'il faut plusieurs gargousses pour un même bloc, celles-ci sont couchées côte à côte. L'argile, utilisée assez parcimonieusement, sert autant à coller les charges au roc qu'à les couvrir. Enfin, tous les brins de cordeau qui équipent les gargousses utilisées sont réunis à un cordeau-maître qui, au dernier moment, reçoit le détonateur de mise à feu.

Le premier tir, effectué donc sur le tas des pierres abattues, concernait 27 blocs chargés au total avec 20 kg de «Pétardite ».

Le second tir comportait une volée de 21 blocs ayant nécessité le chargement de 15 kg; le bloc le plus gros, ayant une hauteur d'homme, avait reçu 2 kg à lui seul.

Ce deuxième tir a été réalisé en 30 minutes par deux hommes, préparatifs compris; un résultat analogue par forage et chargement aurait demandé 5 h de travail à un homme seul.

* * *

graverij in de streek van Doornik ons de kostprijzen medegedeeld voor het verbrijzelen van een vijftigtal blokken met 23 kg « Pétardite ». Het schietwerk was volkomen geslaagd: blokken van minder dan 4-5 m³ volledig verbrijzeld, dikkere blokken voldoende gebarsten om het breken met de mechanische schop te voltooien. Onder deze omstandigheden daalt de gemiddelde kostprijs voor het verbrijzelen van een blok van 42,50 F in het geval van het klassiek boren (waarvan 36 F voor handwerk) tot 30 F in het geval van opgelegde ladingen (waarvan 15 F voor handwerk : lonten en slagpijpjes klaar maken, slijk halen, de ladingen aanbrengen en bedekken). Het gebruikte « Pétardite » kost vijf maal meer dan het dynamiet dat men anders nodig heeft.

3. HET VERBRIJZELEN VAN KWARTSIETSTENEN

In de steengroef die de N.V. « Sagrès » in de omgeving van Saint-Hubert exploiteert, is de kwartsietsteen bijzonder hard en ruig.

Op 25 november 1970 hebben wij er twee secundaire schietpartijen bijgewoond, waarvan de eerste rechtstreeks op de door het primair schietwerk opgeslagen hoop verricht werd en de tweede op een vlak veld aan de voet van de rots.

Omdat de groef in een eenzame streek gelegen is, hoeft men de hoeveelheid springstof die tegelijk tot ontploffing gebracht wordt niet te beperken. Men gebruikt alleen kardoezen van 500 g, die vooraf voorzien zijn van een stuk lichte slagkoord van 30 cm (6 g NP/m), die door het omhulsel van polyethyleen heen in het poeder gestoken wordt en met een metalen haakje in V-vorm stevig aan het omhulsel bevestigd wordt. De springstofladingen worden op « geconcentreerde »wijze op de blokken gelegd; als er voor een blok verscheidene kardoezen nodig zijn, worden deze naast elkaar gelegd. Er wordt weinig leem gebruikt, zowel om de ladingen op de steen te plakken als om ze te bedekken. Ten slotte worden al de slagkoorden die in de gebruikte kardoezen steken aan een hoofdkoord verbonden, waarop op het laatste ogenblik het afvuurslagpijpje aangebracht wordt.

De eerste schietpartij, op de hoop afgeslagen stenen dus, had betrekking op 27 blokken die samen met 20 kg « Pétardite » geladen werden.

De tweede schietpartij had betrekking op 21 blokken, waarvoor 15 kg springstof nodig was; het grootste blok, van manshoogte, had alleen al 2 kg gekregen.

De tweede schietpartij werd door twee arbeiders verricht in 30 minuten, de voorbereidselen inbegrepen; voor dezelfde uitslag zou een man met boren en laden 5 uren gewerkt hebben.

* * *

Tels sont quelques résultats, obtenus au stade industriel en 1970, dont nous avons cru opportun de rendre compte.

Nous remercions les directions des sociétés citées et leurs personnel préposés aux minages, pour le bon accueil qui nous a été réservé dans les diverses exploitations de la pierre que nous avons visitées.

Dit zijn enkele uitslagen die in 1970 op industriële schaal verkregen zijn.

Wij danken de directies van de genoemde maatschappijen en hun schietarbeiders voor de goede ontvangst die ons in de verschillende steengroeven te beurt gevallen is.



Fig. 5.

Charges légèrement couvertes disposées sur blocs de quartzite.
Licht bedekte ladingen gelegd op kwartsietstenen.



Fig. 6.

Effets du tir des charges de la photo n° 5.
Uitwerking van het springen der ladingen van foto nr. 5.

En conclusion, nous pensons que la lacune déplorée à juste titre en 1961 par M. Tasset vient d'être comblée de façon à rendre plus sûres, moins pénibles et plus rentables les opérations de chantier liées à la fragmentation secondaire, là où, pour quelque raison que ce soit, il est impossible, moins avantageux ou moins facile, voire plus dangereux, de procéder autrement.

Car il s'avère en effet que le cassage par charges appliquées, notamment au moyen de la « Pétardite » très peu sensible au choc et complètement annihilée par l'eau, permet:

— de casser des blocs du tas abattu sans exposer le personnel à des risques non négligeables (durée et trépidations des forages);
— d'éviter des travaux manuels de longue durée dans le périmètre d'activité des engins de chantier;
— de se dispenser de l'adduction d'air comprimé au pied du rocher;
— de diminuer considérablement les risques spéciaux issus de ratés d'explosion de pétards forés;

Tot besluit zijn wij de mening toegedaan, dat de door de H. Tasset in 1961 terecht aangeklaagde leemte nu gevuld is, dat het verbrijzelen van steenblokken op de werf veiliger, minder zwaar en renderender geworden is op plaatsen waar het om de een of andere reden onmogelijk, niet zo voordelig of niet zo gemakkelijk en zelfs gevaarlijker is anders te werk te gaan.

Het verbrijzelen van steenblokken door middel van opgelegde ladingen, meer bepaald door middel van « Pétardite », dat goed bestand is tegen schokken en door water volkomen te niet gedaan wordt, blijkt immers een procédé te zijn dat toelaat :

— de afgeslagen steenblokken te verbrijzelen, zonder het personeel aan vrij grote risico's bloot te stellen (duur en trillingen van het boorwerk);
— langdurige werkzaamheden met de hand te vermijden binnen de actie-radius van de mechanische tuigen op de werf;
— geen perslucht naar de voet van de rots te moeten brengen;
— de speciale risico's verbonden aan het weigeren van geboorde mijnen in aanzienlijke mate te verminderen;

— de réduire bien des frais de consommation et d'entretien et, même dans le cas des roches pouvant être cassées par engins lourds de chantier, d'éviter de considérables investissements.

Les exploitants de carrières astreints à morceler suffisamment la pierre avant de la traiter dans leurs installations fixes, disposent donc ainsi d'une panoplie complète de moyens propres à résoudre le problème, épineux pour certains, de la fragmentation secondaire.

— heel wat verbruiks- en onderhoudskosten te verminderen en voor stenen die door zware tuigen op de werf kunnen gebroken worden, zelfs aanzienlijke investeringen uit te sparen.

Zo beschikken de exploitanten van groeven, die de steen vóór de verwerking in hun vaste installaties in voldoende mate moeten breken, over een volledige reeks middelen om het soms netelige probleem van het verbrijzelen van de steenblokken op te lossen.

Vibrations dues aux tirs en masse dans les carrières

Trillingen tengevolge van massaspringwerk in groeven

R. VANDELOISE *

RESUME

Les mesures sismiques des vibrations du sol et des constructions, à proximité des fronts de tirs, sont susceptibles d'aider à l'amélioration du rendement des tirs et à la solution du problème des dégâts aux constructions.

L'étude comporte une analyse sommaire des mesures effectuées lors de 90 tirs : amplitude verticale, vitesse, accélération des vibrations, ainsi que quelques indications sur le risque de dégâts aux constructions.

INHALTSANGABE

Durch die seismische Abmessungen der Schwingungen im Erdreich und in Bauwerken bei Durchführung von Sprengarbeiten läßt sich die Sprengwirkung erhöhen und die Gefährdung in der Nähe liegender Bauten durch die von der Sprengung ausgelösten Erschütterungen ausschalten.

Die Arbeit gibt einen Überblick über die Auswertung von Messungen der vertikalen Amplitude, der Schwingungsgeschwindigkeit und ihrer Beschleunigung bei 90 Sprengungen und enthält Angaben über die Gefahr von Gebäudeschäden.

SAMENVATTING

Seismische metingen van de trillingen van de bodem en de gebouwen in de omgeving van de springfronten kunnen bijdragen tot een verbetering van het effect van het springwerk en tot de oplossing van het probleem van de schade aan de gebouwen.

Deze studie bevat een korte ontleding van metingen die bij 90 afvuringen werden verricht : vertikale amplitude, snelheid, versnelling van de trillingen, alsook enkele aanduidingen betreffende het risico van schade aan de gebouwen.

SUMMARY

The seismic measures of the vibrations of the ground and buildings in the vicinity of blasting faces are likely to help improve the output of blasting and the solution of the problem of damage to buildings.

The report includes a brief analysis of the measurements made during 90 blastings : vertical amplitude, speed, acceleration of the vibrations, as well as some indications regarding the risk of damage to buildings.

* Chargé de Recherches Principal.
INIEX, Bois-du-Val-Benoît, rue du Chéra, B-4000 Liège.

* Eerstaanwezend gecommitteerd onderzoeker.
NIEB, Bois-du-Val-Benoît, rue du Chéra, B-4000 Liège.

Les tirs en masse dans les carrières posent des problèmes dont l'importance ne cesse de croître en raison des charges d'explosifs très grandes actuellement mises en œuvre.

Ces problèmes concernent, d'une part, l'efficacité et le rendement des tirs et, d'autre part, le risque de dégâts au voisinage de la carrière. Les mesures sismiques des vibrations du sol et des constructions, à proximité des fronts de tirs, peuvent aider à la solution de ces problèmes.

L'Iniex disposait déjà d'appareils de mesures sismiques qui avaient été utilisés dans l'étude des mouvements de terrains à la suite des dégagements instantanés de grisou et des tirs d'ébranlement effectués pour lutter contre ce phénomène. Cet appareillage a été complété par un matériel plus simple : le vibrographe Tellus. Ce dernier appareil, facile à mettre en œuvre, peu coûteux et susceptible de fournir immédiatement et rapidement des indications utiles à l'exploitant, a été conçu et mis au point par l'Institut Norvégien de Minage des Roches. En Norvège et en Suède, il est d'application très courante, en complément ou en remplacement d'enregistreurs mécaniques et d'oscillographes beaucoup plus compliqués. Il est utilisé dans les carrières comme dans les travaux publics. L'appareil Tellus enregistre uniquement la composante verticale des vibrations du sol.

Jusqu'à la fin de 1970, quelque 90 tirs en masse ont été enregistrés à l'aide de l'appareil Tellus, au siège d'Ampsin des carrières Dumont-Wautier. Le siège exploite un gisement de calcaire stratifié dont les bancs sont inclinés à 70°. La plupart des fronts sont orientés perpendiculairement à la stratification.

Avant d'énoncer les premiers résultats globaux et provisoires des mesures, trois remarques préliminaires s'imposent :

1°) Pour tirer des conclusions certaines, une étude fondamentale des vibrations basée sur de nombreuses mesures est indispensable.

2°) Les appareils de mesures doivent être bien adaptés, précis et fiables. Nous nous rendons parfaitement compte de la nécessité d'améliorer nos moyens de mesures, ce qui permettra de compléter, voire de corriger les observations actuelles.

3°) Pour apprécier le risque de dégâts aux constructions voisines d'une carrière, nous nous sommes basés sur des études belges ou étrangères antérieures. Nous avons retenu comme seuils de risque les limites proposées par l'Institut Norvégien de Minage des Roches et par le CRIPE; mais, jusqu'à présent, nous

Het massaspringwerk in de groeven stelt problemen die voortdurend omvangrijker worden wegens de zeer grote springladingen die momenteel gebruikt worden.

Deze problemen hebben enerzijds betrekking op het effect en de doelmatigheid van het springwerk en anderzijds op het gevaar voor schade in de omgeving van de groeven. De seismische metingen van de trillingen van de bodem en de gebouwen in de omgeving van het schietfront kunnen bijdragen tot het oplossen van deze problemen.

Het Nieb beschikte reeds over toestellen voor seismische metingen die gebruikt waren voor de studie van grondbewegingen als gevolg van mijngasdoorbraken en van de ontspanningssalvo's die afgevuurd werden om deze verschijnselen te bestrijden. Deze apparatuur werd met een eenvoudiger toestel vervolledigd : de vibrograaf Tellus. Dit laatste toestel is eenvoudig in het gebruik, het is niet duur en het levert onmiddellijk en vlug gegevens die nuttig zijn voor de exploitant; het werd ontworpen en uitgewerkt door het Noorse instituut voor springwerk in gesteenten. In Noorwegen en Zweden wordt het zeer veel gebruikt in aanvulling of vervanging van veel meer ingewikkelde mechanische registreertoestellen en oscillografen. Het wordt zowel in groeven als op openbare werken gebruikt. Het Tellus-apparaat registreert enkel de vertikale componente van de bodemtrillingen.

Tot einde 1970 werden zowat 90 schoten met behulp van het Tellus-apparaat geregistreerd, in de zetel van Ampsin van de groeven van Dumont-Wautier. Deze zetel ontgint een afzetting van gelaagde kalksteen waarvan de banken een helling hebben van 70°. De fronten liggen meestal loodrecht op de gelaagdheid.

Vooraleer de eerste globale en voorlopige resultaten van deze metingen te vermelden, willen wij drie bemerkingen formuleren :

1°) Voor zekere besluiten is een grondige studie van de trillingen, gebaseerd op talrijke metingen, vereist.

2°) De meettoestellen moeten aangepast zijn, nauwkeurig en betrouwbaar. Wij zijn overtuigd van de noodzakelijkheid onze meetapparatuur te verbeteren, waardoor we in staat zullen zijn onze huidige waarnemingen aan te vullen of ten minste te verbeteren.

3°) Om het risico van schade aan de gebouwen in de omgeving van een groeve te schatten hebben wij ons gebaseerd op vroegere Belgische en buitenlandse studies. Als risicodrempels hebben wij de grenzen aangenomen die voorgesteld worden door het Noors instituut voor springwerk in gesteenten en door het CRIPE; tot nu toe hebben we de geldigheid

n'avons pu encore vérifier la validité de ces limites.

Les enregistrements faits à Ampsin ont eu lieu en 4 points distants de 50 à 400 m des centres de tirs (2 points dans les installations de la carrière et 2 points dans des habitations extérieures).

Nous citerons ci-après quelques-uns des premiers résultats globaux et provisoires des mesures.

A) *Amplitude de vibration* (amplitude verticale).

1°) On a observé un très net amortissement de l'amplitude verticale des vibrations avec l'éloignement du point de mesure au centre de tir. Pratiquement, au-delà de 250 m, ces amplitudes sont insignifiantes (moins de 50 microns).

2°) Les vibrations se transmettent mieux dans le sens parallèle à la stratification que dans le sens perpendiculaire; mais, de toute façon, on observe de plus grandes amplitudes de vibrations, en un point donné, lorsque ce point est aligné sur le front de tir.

3°) On observe une augmentation de l'amplitude de vibration en un point donné, lorsque la charge d'explosifs mise en œuvre en un front donné est augmentée.

4°) On a observé de plus grandes amplitudes de vibrations en un point donné — également éloigné des centres de tirs — lorsque les fronts sont fermés (approfondissement de la carrière pour l'ouverture d'un nouveau gradin à périmètre pratiquement encore fermé).

5°) Il y a amortissement complet des vibrations lorsque le tir est effectué dans un front qui vient au contact de terres meubles.

6°) A première vue, on n'a pas observé d'influence du niveau du front de tir sur l'amplitude des vibrations aux différents points de mesures, le facteur distance étant nettement prépondérant.

B) *Vitesse de vibration.*

La vitesse de vibration diminue lorsque la distance du point de mesure au centre de tir augmente. A l'exception d'un seul point de mesure, où cette vitesse a atteint un peu plus de 40 mm/s, les vitesses les plus élevées ont été comprises entre 20 et 30 mm/s (les premières fissures apparaissent dans les constructions pour des vitesses de l'ordre de 70-75 mm/s).

C) *Accélération de vibration.*

Les accélérations que nous avons calculées (en fonction de l'amplitude et de la fréquence de vibration) décroissent rapidement, dans l'ensemble, lorsque l'on s'est éloigné des fronts de tir.

van deze grenzen evenwel niet kunnen verifiëren.

In Ampsin gebeurden de registreringen in 4 punten gelegen op 50 tot 400 m van het centrum der afvuringen (2 punten in de aanhorigheden van de groeve en 2 punten in de woningen daarbuiten).

Wij geven hierna enkele van de eerste globale en voorlopige resultaten van onze metingen.

A) *Trillingsamplitude* (vertikale amplitude).

1°) Men ziet heel duidelijk dat de vertikale amplitude der trillingen verzwakt naarmate het meetpunt verder weggaat van het afvuurcentrum. Boven de 250 m zijn de amplituden praktisch onbeduidend (minder dan 50 micron).

2°) De trillingen zetten zich beter voort in de richting die evenwijdig loopt met de gelaagdheid dan in de richting loodrecht erop; maar in elk geval vindt men in een bepaald punt de grootste trillingsamplitude wanneer dit punt in één lijn ligt met het springfront.

3°) Men krijgt een toeneming van de trillingsamplitude in een gegeven punt, wanneer de springlading die aan een front gebruikt wordt, wordt verhoogd.

4°) Men heeft in een gegeven punt de grootste trillingsamplituden waargenomen — altijd op een zekere afstand van het centrum der afvuringen — wanneer het front ingesloten is (afdieping van de groeve voor het aanboren van een nieuwe trap waarvan de omtrek nog praktisch gesloten is).

5°) De trillingen worden volledig gedempt wanneer het front in aanraking komt met losse grond.

6°) Op het eerste gezicht heeft men geen verband ontdekt tussen het niveau van het schietfront en de trillingen in de verschillende meetpunten; de factor afstand is klaarblijkelijk overheersend.

B) *Trillingssnelheid.*

De trillingssnelheid vermindert wanneer de afstand van het meetpunt tot het centrum toeneemt. Met uitzondering van één enkel meetpunt, waar de snelheid een weinig boven de 40 mm/s lag, lagen de hoogste snelheden tussen 20 en 30 mm/s (de eerste scheuren ontstaan in gebouwen voor snelheden van de grootteorde van 70-75 mm/s).

C) *Versnelling van de trillingen.*

De versnellingen die wij berekend hebben (in functie van de amplitude en de trillingsfrequentie) nemen in het algemeen snel af wanneer men zich van het schietfront verwijdert.

Conclusions.

L'étude des vibrations dues aux tirs n'en est qu'à ses débuts. Les appareillages de mesures doivent être perfectionnés et éventuellement remplacés par d'autres mieux adaptés. L'étude fondamentale des vibrations doit être complétée par l'examen des composantes horizontales des vibrations. Les mesures ne doivent pas être effectuées seulement au niveau du sol ou du sous-sol des bâtiment, mais encore aux étages supérieurs. Tout le problème de l'amélioration des techniques de tir pour en assurer le plus grand rendement est encore à étudier. Par ailleurs, en ce qui concerne les risques de dégâts causés par les tirs, il faudra établir des relations directes entre les constatations objectives faites sur les bâtiments et les vibrations enregistrées lors des tirs.

Les mesures ont eu lieu dans un gisement de calcaire stratifié à forte inclinaison. Des études semblables devraient avoir lieu dans d'autres gisements stratifiés mais à faible pendage et dans des gisements de roches compactes, non stratifiées.

Besluiten.

De studie van de trillingen veroorzaakt door springwerk is nog maar pas begonnen. De meetapparatuur moet verbeterd worden en desnoods vervangen door iets dat meer aangepast is. De grondige studie van de trillingen moet aangevuld worden met een onderzoek van de horizontale componenten van de trillingen. De metingen moeten niet alleen op het gelijkvloers en in de kelders van de woningen worden uitgevoerd maar ook op de hogergelegen verdiepingen. Heel de techniek van het springwerk, met het oog op een verbetering van het effect ervan, moet nog ter studie worden genomen. Overigens zal men, wat het risico voor schade tengevolge van het springwerk betreft, een rechtstreeks verband moeten opstellen tussen de objectieve waarnemingen die in de gebouwen worden uitgevoerd en de trillingen die tijdens het afvuren worden geregistreerd.

De metingen werden uitgevoerd in een afzetting van gelaagde kalksteen met sterke helling. Soortgelijke studies zouden moeten plaats vinden in andere eveneens gelaagde afzettingen evenwel met kleinere helling en in afzetting van massieve niet gelaagde gesteenten.

Introduction à l'étude de la cinétique de la décomposition du calcaire

Inleiding tot de studie van de kinetiek van de ontbinding van kalksteen

A. FRANÇOIS *

Avant de passer la parole à Monsieur Saussez, Monsieur François, qui préside la séance d'après-midi, rappelle brièvement quelques-uns des principes de physicochimie qui sont à la base du fonctionnement des fours à chaux.

La décomposition du carbonate calcique se traduit par une équation simple :

$$CaCO_3 = CaO + CO_2$$

Elle s'accompagne tout à la fois d'une très forte absorption de chaleur et d'un grand accroissement de volume (le volume du CO_2 venant s'ajouter à celui du CaO qui lui-même est à peu près le même que celui du $CaCO_3$ dont il provient).

Le principe de Le Chatelier nous enseigne qu'une telle réaction est favorisée par l'élévation de la température et par la diminution de la pression ambiante.

L'effet déterminant de la température se traduit par l'évolution de la pression de dissociation qui vaut 1 mm de Hg à 587 °C, 420 mm à 857 °C et atteint la pression atmosphérique vers 900 °C. Réciproquement, en réduisant la pression partielle du CO_2, on peut faire en sorte que la dissociation commence à plus basse température.

A l'inverse de ce qui se passe pour la synthèse de l'ammoniac, il y a donc intérêt à travailler en dépression et à diluer le CO_2 par un balayage à l'aide d'autres gaz.

Vooraleer het woord te verlenen aan dhr. Saussez herinnert dhr François, die de namiddagzitting voorzit, in het kort aan enkele fysico-chemische principiepen die de basis vormen van de werking der kalkovens.

De ontbinding van het calciumcarbonaat gebeurt volgens een eenvoudige vergelijking :

$$CaCO_3 = CaO + CO_2$$

Zij gaat tegelijkertijd gepaard met een zeer grote opslorping van warmte en een zeer grote toeneming van het volume (het volume van het CO_2 komt zich voegen bij dat van het CaO dat ongeveer gelijk is aan dat van het $CaCO_3$ waar het van voortkomt).

Uit het princiep van Le Chatelier volgt dat een dergelijke reactie wordt bevorderd door een verhoging van de temperatuur en een vermindering van de omgevingsdruk.

De beslissende invloed van de temperatuur blijkt uit de evolutie van de ontbindingsdruk die 1 mm Hg is bij 587 °C, 420 mm bij 857 °C en gelijk is aan de atmosferiscche druk bij 900 °C. Omgekeerd kan men door het verminderen van de partiële druk van het CO_2 in zekere zin bekomen dat de ontbinding op een lagere temperatuur begint.

In tegenstelling met wat bij de synthese van ammoniak gebeurt, heeft men er dus voordeel bij in onderdruk te werken en het CO_2 te verdunnen door met andere gassen te spoelen.

* Directeur Général de la S.A. des Carrières et Fours à Chaux d'Aisemont.

La nature du combustible et le débit d'air comburant sont également à considérer, car le four à chaux se comporte comme un gazogène dans lequel s'établit l'équilibre de Boudouard : $C + CO_2 \rightleftarrows 2\ CO$.

Un autre paramètre de grande importance est le rapport surface/volume lié à la granulométrie du calcaire. Les phénomènes de transfert de chaleur et de transfert de masse étant essentiellement dépendant des surfaces d'échange, il y aurait intérêt à cuire des calcaires de plus petit calibre qui par unité de poids présentent une plus grande surface externe. C'est une notion dont vous entretiendra l'exposé qui va suivre, l'expérience ayant été réalisée sur des sphères, des cubes et des prismes allongés.

La disposition du morceau à l'intérieur du four a également son importance; ainsi un cube posé sur une face se décompose moins vite qu'un cube placé sur un sommet car dans ce cas la presque totalité des six faces est exposée au rayonnement du four.

A côté de la productivité et de l'économie de combustible, il faut aussi considérer la qualité de la chaux produite et plus particulièrement sa « réactivité » qui dépend très largement des conditions de cuisson.

On a pu constater au microscope électronique que la chaux se compose de cristallites très fins formant une fine texture poreuse; le diamètre des cristallites dépendant surtout de la température de cuisson. Une chaux cuite à 900 °C présente des cristallites de 1 micron, à 1000 °C de 2 microns, 3 microns à 1100 °C et à partir de 1200 °C les cristallites peuvent avoir de 6 à 12 microns et au-delà de cette température jusqu'à 14 à 16 microns. C'est ainsi qu'à 1200 °C débute la surcuisson qui fait perdre à la chaux sa « réactivité ».

Le but de ces considérations n'est pas de résoudre tous les problèmes, mais d'attirer votre attention sur leur complexité et sur l'intérêt qu'il peut y avoir à en entreprendre l'étude méthodique. C'est ce qui m'a conduit à proposer à l'INIEX d'effectuer une première étude des principaux facteurs qui influencent la cinétique de la décomposition du carbonate calcique.

INIEX disposait à cet effet d'un instrument bien approprié : la thermobalance, constituée d'un four vertical dont on peut faire varier la température, et à l'intérieur duquel on peut faire varier la pression partielle du CO_2 et réaliser un balayage par un gaz inerte. Les variations de poids sont enregistrées au fur et à mesure de la dissociation du calcaire et l'exposé qui va suivre vous montrera les expériences très intéressantes réalisées grâce à cet appareil.

De aard van de brandstof en het debiet van de verbrandingslucht moeten eveneens in aanmerking genomen worden want de kalkoven gedraagt zich als een gasgenerator waarin het evenwicht van Boudouard ontstaat : $C + CO_2 \rightleftarrows 2\ CO$.

Een andere zeer belangrijke parameter is de verhouding oppervlakte, volume die gebonden is aan de korrelgrootte van de kalksteen. Aangezien de verschijnselen van warmte- en massaoverdracht in hoofdzaak samenhangen met de contactopervlakten, zou men er voordeel bij hebben kalksteen met een kleiner kaliber te branden, die per eenheid van gewicht een grotere uitwendige oppervlakte heeft. Over deze notie gaat de hierna volgende uiteenzetting die handelt over proeven, uitgevoerd met bollen, kubussen en langwerpige prisma's.

Ook de opstelling van het stuk in het inwendige van de oven heeft belang; zo bij voorbeeld ontbindt een kubus die op een vlak rust, zich minder snel dan een kubus die op een top rust omdat in dat geval haast het geheel van de zes vlakken blootgesteld wordt aan de straling van de oven.

Naast de produktiviteit en het brandstofverbruik heeft ook de kwaliteit van de geproduceerde kalk belang en bijzonder de reactiviteit die in hoge mate afhangt van de omstandigheden bij het branden.

Men heeft met een elektronenmicroscoop gezien dat kalk samengesteld is uit zeer fijne kristalnaalden die een fijne poreuze textuur vormen; de doormeter van de kristalnaalden hangt vooral af van de brandtemperatuur. Kalk die gebrand werd op 900 °C heeft kristalnaalden van 1 micron, op 1000 °C is het 2 micron, op 1100 °C 3 micron, van 1200 °C af kunnen de naalden een doormeter hebben van 6 tot 12 micron en daarboven gaat het tot 14 en 16 micron. Zo ontstaat bij 1200 °C het overbranden waardoor de kalk zijn « reactiviteit » verliest.

Doel van deze overwegingen is niet al de problemen op te lossen maar uw aandacht te vragen voor de complexiteit ervan en het belang dat kan gelegen zijn een een methodische studie. Dat heeft er mij toe aangezet het NIEB te verzoeken een eerste studie te wijden aan de voornaamste factoren die de cinetica van het ontbinden van calciumcarbonaat beïnvloeden.

Het NIEB had daarvoor een aangepast instrument : de thermobalans, bestaande uit een vertikale oven waarvan men de temperatuur kan wijzigen en waarin men de partiële druk van het CO_2 kan veranderen en een spoeling met een inert gas uitvoeren. De verandering van het gewicht wordt opgetekend naargelang de kalksteen ontbonden wordt. De hier volgende uiteenzetting zal U duidelijk maken welke belangrijke proefnemingen dank zij dit apparaat konden uitgevoerd worden.

Télécommunications dans les carrières souterraines

Telecommunicatie in de ondergrondse galerijen

R. LIEGEOIS *

RESUME

L'auteur explique comment on peut améliorer les communications dans les chantiers souterrains en utilisant des lignes guides d'ondes.

Il décrit brièvement l'ardoisière de Warmifontaine et fait part des résultats obtenus avec le système breveté INIEX/DELOGNE et des walkies-talkies SAIT travaillant en modulation de phase à 36 MHz.

SAMENVATTING

De auteur legt uit hoe men de verbindingen in de ondergrondse werkplaatsen kan verbeteren door middel van golfgeleiders.

Hij geeft een korte beschrijving van de leisteengroeve van Warmifontaine en deelt de resultaten mee die bekomen werden met het gebreveteerd systeem NIEB/DELOGNE en de walkie-talkies SAIT werkend in fazemodulatie op 36 MHz.

INHALTSANGABE

Der Verfasser zeigt auf, wie man in unterirdischen Steinbruchbetrieben die Nachrichtenübermittlung durch gerichtete Wellen verbessern kann. Er beschreibt in Kürze eine Anlage im Schieferbruch Warmifontaine und schildert die Ergebnisse mit dem patentierten INIEX-DELOGNE System und mit dem tragbaren SAIT-Gegensprechgerät, das mit Phasenmodulation bei 36 MHz arbeitet.

SUMMARY

The author explains how communications in underground working places may be improved by using lines of wave-guides.

He briefly describes the Warmifontaine slate-quarry and gives the results obtained with the INIEX/DELOGNE patent system and SAIT walkie-talkies working in phase modulation at 36 MHz.

1. WALKIES-TALKIES ET LIGNES GUIDES D'ONDES

Nos recherches sur l'emploi des walkies-talkies dans les chantiers souterrains ont débuté en 1964, et se sont intensifiées à partir de 1969 grâce, notamment, à une aide financière de la Commu-

1. WALKIE-TALKIES EN GOLFGELEIDENDE KABELS

Onze onderzoekingen in verband met het gebruik van de walkie-talkies in de ondergrondse werkplaatsen werden begonnen in 1964 en werden sinds 1969 intenser doorgevoerd en wel dank zij

(*) Chef de Section de Recherches à l'INIEX.
« Bois du Val-Benoît », rue du Chéra, 4000 Liège (Belgique).

(*) Hoofd van de afdeling opzoekingen aan het NIEB.
« Bois du Val-Benoît », rue du Chéra - 4000 Liège (Belgique).

nauté Européenne du Charbon et de l'Acier (CECA) et à la collaboration des charbonnages.

Il y a un an, à l'occasion de la Journée d'information organisée par l'INIEX pour les carriers, M. Schoemans, Directeur des Ardoisières de Warmifontaine, prit connaissance de nos travaux et nous proposa de faire dans les chantiers souterrains de son exploitation des essais qui élargiraient le champ de nos investigations.

Effectivement, les ardoisières souterraines se distinguent des mines de houille belges par la nature de la roche exploitée, par une disposition spécifique des cavités minières et par l'absence de grisou. Ce dernier point est extrêmement important. Dans les houillères ne sont autorisés pour les mesures que des appareils de sécurité intrinsèque ou placés dans des coffrets antidéflagrants, lourds, encombrants et que l'on ne peut pas ouvrir dans le fond.

La portée des walkies-talkies ne dépasse pas quelques mètres ou quelques dizaines de mètres dans les galeries souterraines non parcourues par des conducteurs.

La portée est quelque peu allongée si des câbles sont présents. Elle l'est davantage si on suspend dans la galerie un câble monofilaire bien isolé (fig. 1a). Toutefois, les vertus de ce câble disparaissent à mesure qu'on le rapproche des parois et il devient totalement inopérant s'il est posé contre la paroi ou sur le sol.

een financiële hulp van de Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal (EGKS) en de medewerking van de steenkolenmijnen.

Een jaar geleden heeft dhr Schoemans, Directeur der Leisteengroeven van Warmifontaine, ter gelegenheid van de informatiedag die door het NIEB werd georganiseerd voor de steengroeven, van ons werk gehoord en ons voorgesteld in zijn ondergrondse ontginningswerken proeven te doen die ons onderzoekingsveld zouden verruimen.

De ondergrondse leisteengroeven verschillen inderdaad van de Belgische steenkolenmijnen door de aard van het ontgonnen gesteente, een eigen schikking van de mijnuithollingen, en de afwezigheid van mijngas. Dit laatste punt is bijzonder belangrijk. In de steenkolenmijnen mag men voor metingen enkel gebruik maken van toestellen die ofwel intrinsiek veilig zijn ofwel ingebouwd zijn in ontploffingsvaste koffers, die zwaar en onvangrijk zijn en die men in de ondergrond niet mag openen.

De draagwijdte der walkie-talkies reikt niet verder dan enkele meters of enkele tientallen meters in ondergrondse galerijen waar geen geleiders hangen.

Wanneer er kabels zijn wordt de draagwijdte een weinig groter. Ze wordt nog groter wanneer men in de galerij een goed geïsoleerde éénaderige kabel ophangt (fig. 1a). De kwaliteiten van deze kabel verdwijnen echter naarmate men hem dichter bij de wand brengt en hij verliest elke invloed wanneer men hem tegen de wand of op de grond plaatst.

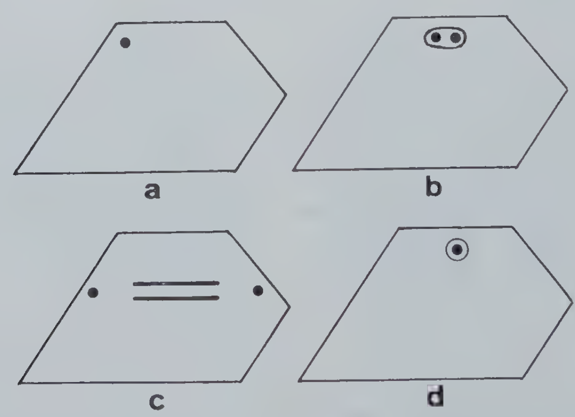


Fig. 1a.

A de nombreuses reprises, nous avions constaté [1] que l'emploi d'une ligne bifilaire comme conducteur d'ondes donnait, dans certaines circonstances, des résultats nettement supérieurs à ceux obtenus avec un câble monofilaire (fig. 1b).

C'est pourquoi, fin octobre 1969, nos essais à Warmifontaine ont été effectués avec du câble

[1] Bulletins Techniques INIEX « Mines et Carrières » n° 117 et 128.

Verschillende keren hebben wij ondervonden [1] dat een tweeaderige lijn als golfgeleider in bepaalde omstandigheden heel wat betere resultaten gaf dan die, die men met een éénaderige kabel bekomt (fig. 1b).

Daarom hebben wij onze proeven in Warmifontaine, eind oktober 1969, uitgevoerd met een twee-

[1] Technische Tijdschriften NIEB « Mijnen en Groeven » nrs. 117 en 128.

bifilaire. Les expériences réalisées furent décisives pour la recherche. En effet, avec un câble bifilaire placé dans certaines conditions, on a assuré la communication entre des opérateurs circulant entre les points opposés distants d'environ 500 m, mais avec un autre câble bifilaire d'un autre type, placé dans d'autres conditions, on éprouvait des difficultés de transmission dans certains endroits défavorisés.

A partir de cette date, on a étudié d'une manière systématique la propagation des ondes électromagnétiques le long d'une ligne à deux conducteurs. Simultanément, on a recherché des systèmes originaux de transmission pour galeries souterraines.

Dans le système INIEX/Dubois (fig. 1c), on place un câble contre chacune des parois de la galerie dans laquelle on crée ainsi un champ magnétique élevé et constant. Les premières expériences réalisées en tunnel sur des longueurs d'à peu près 1.300 m démontrent l'intérêt du système. Toutefois, son succès est lié pour des raisons théoriques à l'emploi de walkies-talkies travaillant à des fréquences relativement basses.

Dans le système INIEX/Delogne (fig. 1d), on utilise un seul câble coaxial. L'énergie électromagnétique se propage à l'intérieur du câble avec des pertes assez faibles et d'une manière qui est tout à fait indépendante des caractéristiques de la galerie. De place en place, on dispose des antennes qui permettent à une partie de l'énergie de se propager à l'extérieur du câble. Les antennes que l'on a mises au point sont en fait des dispositifs rayonnants extrêmement compacts et qui consistent essentiellement en une interruption du conducteur extérieur du câble coaxial. Les dispositifs sont calculés et construits de manière que l'onde sortante soit projetée le long du câble et non rayonnée vers les parois où elle serait absorbée (fig. 2). En outre, l'impédance caractéristique est adaptée de manière à réduire l'influence des antennes sur la propagation du signal dans le câble lui-même.

aderige kabel. Hetgeen we gedaan hebben was beslissend voor ons onderzoekingswerk. Inderdaad : met een tweeaderige kabel die op een bepaalde manier was geplaatst hebben wij een communicatie tot stand gebracht tussen twee sprekers die op twee tegengestelde plaatsen rondliepen, op een afstand van zowat 500 m; doch met een andere tweeaderige kabel van een ander type, die op een andere manier was opgehangen, hebben wij bij de transmissie moeilijkheden ondervonden op sommige minder goed gelegen plaatsen.

Van die datum af werd de voortplanting van elektromagnetische golven langs een tweeaderige lijn systematisch bestudeerd. Terzelfdertijd heeft men oorspronkelijke systemen gezocht voor de transmissie in ondergrondse galerijen.

Bij het systeem NIEB-Dubois (fig. 1c) plaatst men een kabel tegen elke wand van de galerij, waarin men op die manier een sterk en constant magnetisch veld veroorzaakt. De eerste proeven die werden uitgevoerd in tunnels met afstanden van bijna 1.300 m, bewezen welk belang dit systeem heeft. Evenwel is de doelmatigheid om theoretische redenen gebonden aan het gebruik van walkie-talkies met een betrekkelijk lage frequentie.

Bij het systeem NIEB-Delogne (fig. 1d) gebruikt men één enkele coaxiale kabel. De elektromagnetische energie plant zich in het inwendige van de kabel voort, met vrij kleine verliezen en volkomen onafhankelijk van de kenmerken der galerij. Op bepaalde punten plaatst men een antenne langswaar een gedeelte van de energie buiten de kabel verspreid wordt. De antennes die men uitgewerkt heeft zijn in werkelijkheid zeer compacte stralingsapparaten die hoofdzakelijk bestaan in een onderbreking van de buitengeleider van de coaxiale kabel. Deze apparaten zijn zo berekend en gebouwd dat de golf langs de kabel geleid wordt en niet uitstraalt naar de wanden waar ze zou geabsorbeerd worden (fig. 2). Bovendien wordt de karakteristieke impedantie zo gekozen dat de antennes zo weinig mogelijk invloed hebben op de voortplanting van het signaal in de kabel zelf.

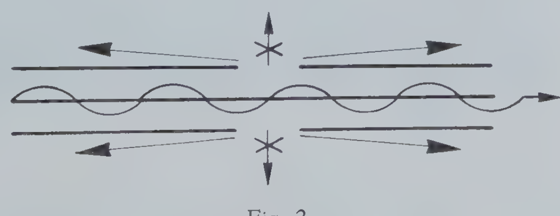


Fig. 2.

C'est ce système INIEX/Delogne que nous venons de mettre en service dans la carrière souterraine de Warmifontaine. Il donne d'excellents résultats.

Het is het systeem NIEB/Delogne dat wij zopas in bedrijf gesteld hebben in de ondergrondse groeve te Warmifontaine. Het geeft zeer goede resultaten.

Il y a deux mois, nous avions réalisé dans un charbonnage de Campine la première installation expérimentale fondée sur ce procédé. Il s'agissait alors non seulement de télécommunication, mais de télésignalisation. Un ouvrier suivant une rame de berlines d'un traînage par câble porte sur le dos un émetteur de télécommande et à la ceinture un boîtier de commande au moyen duquel il envoie à plus de 900 m de distance les ordres de marche du treuil de halage.

Twee maanden geleden hadden wij in de Kempen de eerste experimentele installatie gebaseerd op dit procédé gebouwd. Hier ging het niet alleen om telecommunicatie, maar ook om afstandsbediening. Een werkman volgt een trein wagentjes getrokken door een kabelsleepinrichting; hij draagt op de rug een zender voor afstandsbediening en aan de gordel een bedieningskastje waarmee hij aan de lier van de sleepinrichting bevelen geeft van op meer dan 900 m afstand.

2. L'ARDOISIERE

La carrière de Warmifontaine est ouverte dans les phyllades gris du Coblencien du flanc sud de l'anticlinal de l'Ardenne. On accède aux chantiers par un puits incliné à 60° suivant la plus grande pente des terrains. Il dessert actuellement deux étages d'extraction situés l'un à 180 m de profondeur et l'autre à 150 m de profondeur. La translation du personnel et des wagonnets se fait au moyen d'un skip à deux paliers circulant sur rails et tiré par un câble plat. Le puits n'est pas rectiligne; on ne voit donc pas le jour lorsqu'on est sur le skip à l'un des étages d'extraction (fig. 3).

2. DE LEISTEENGROEVE

De steengroeve van Warmifontaine is uitgebouwd in de grijze phylladen van het Koblensiaan, in de zuidelijke flank van de anticline der Ardennen. De toegang geschiedt langs een schacht met een helling van 60°, volgens de grootste helling van het gesteente. Zij bedient momenteel twee ontginningsverdiepingen gelegen respectievelijk op 180 en op 150 m diepte. Personeel en wagens worden vervoerd door middel van een skip met twee platformen die over sporen loopt en getrokken wordt met een platte kabel. De schacht is niet rechtlijnig; men ziet dan ook de bovengrond niet wanneer men zich op de skip bevindt ter hoogte van één der ontginningsverdiepingen (fig. 3).

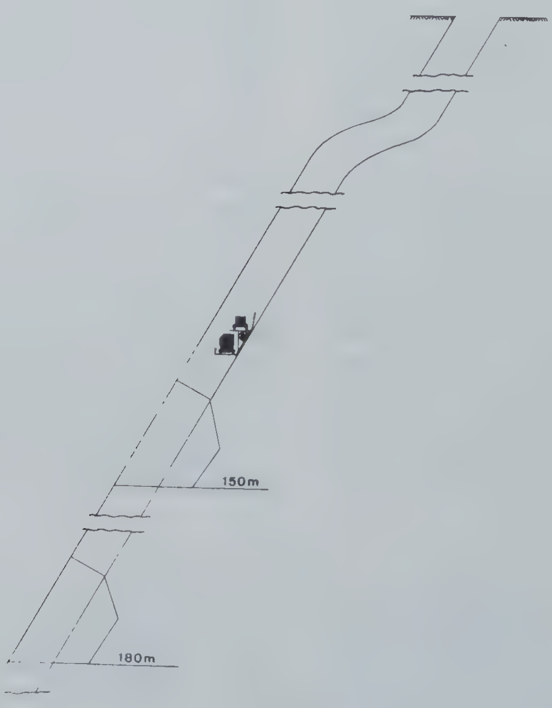


Fig. 3.

A la figure 4, on voit le skip en position de départ pour la descente. On a placé une berline haute sur le plancher inférieur et une berline basse sur le palier supérieur. La forme de la ber-

Op figuur 4 ziet men de skip klaar voor de afdaling. Men heeft een hoge wagen op de onderste vloer gezet en een lage op de bovenste. De vorm van de hoge wagen is zo gekozen dat een

line haute lui donne une capacité optimale, compte tenu du gabarit du puits et des galeries. L'écartement entre les roues est de 80 cm. Au moment du départ, le skip est levé d'une hauteur suffisante pour que le préposé puisse, au moyen d'un levier, effacer les taquets de retenue. Après le départ du skip, on abaisse une barrière de sauvegarde.

optimale inhoud bereikt wordt, rekening gehouden met de sectie van schacht en galerijen. De spoorbreedte bedraagt 80 cm. Bij het vertrek wordt de skip voldoende gehesen opdat de verantwoordelijke door middel van een hefboom de klampen zou kunnen wegnemen. Nadat de skip vertrokken is wordt een afsluitbareel neergelaten.

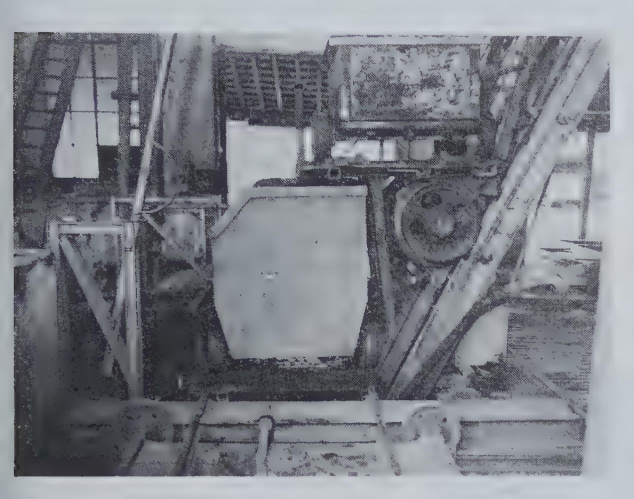


Fig. 4.

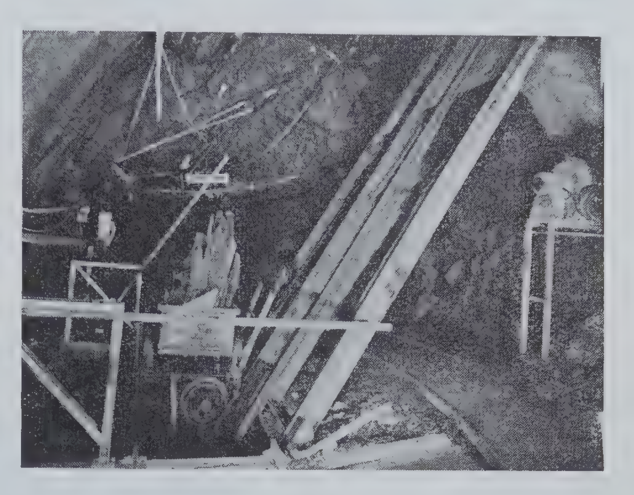


Fig. 5.

A la remonte, les caisses à déchets sont tirées manuellement vers l'avant-plan pour être poussées vers le terril; les berlines à pierres sont tirées vers l'arrière-plan, c'est-à-dire vers la cour de la carrière. On voit très bien sur la photo du skip les verrous de palier que le tireur doit faire glisser du pied pour libérer la berline. Le contournement du puits s'opère, pour les berlines, au moyen de ponts transbordeurs situés de part et d'autre. Les berlines chargées de dalles brutes destinées à la fabrication des ardoises sont poussées à la main jusqu'à une plaque tournante d'où elles sont dirigées vers un pont à peser avant d'être déchargées.

De opgehaalde kisten met afval worden met de hand naar voor getrokken en naar het stort gestoten; de kisten met stenen worden naar achter getrokken, dit wil zeggen naar de koer van de groeve. Men ziet op de foto van de skip duidelijk de vloergrendels die de losser moet wegschuiven met de voet om de wagen vrij te maken. Als schachtomloop zijn er voor de wagens overzetwagens aan beide kanten. De wagens met bruto platen bestemd voor de vervaardiging van de leien worden met de hand gestoten tot op een draaiplaat vanwaar ze naar een laadbrug gaan, waarna ze gelost worden.



Fig. 6.

La figure 5 montre l'envoyage de l'étage de de 180 m. On observera l'arrangement des dalles brutes placées de manière à épouser l'allure inclinée du toit des galeries et à respecter le gabarit du puits.

Sur la figure 6, le poste téléphonique de l'encageur est visible à droite. Plus à droite encore, on a suspendu quelques boucles de câble coaxial utilisé pour les communications par radio. Cette réserve de câble est intercalée entre le tronçon placé dans le puits et le tronçon suspendu dans la galerie. Un dispositif rayonnant de ce système de ligne guide d'onde est situé à l'aplomb du poste téléphonique.

Figuur 5 toont de laadvloer op de verdieping van 180 m. Men ziet de bruto platen opgestapeld volgens de helling van het dak der galerijen en overeenkomstig de sectie van de schacht.

Op figuur 6 ziet men rechts de telefoonpost van de lader. Nog meer rechts enkele lussen van de coaxiale kabel die gebruikt wordt voor de radioverbindingen. Deze kabelreserve wordt ingeschakeld tussen het traject in de schacht en het traject dat in de galerij ophangt. Er staat een stralingsapparaat van dit golfgeleidersysteem in de nabijheid van de telefoonpost.

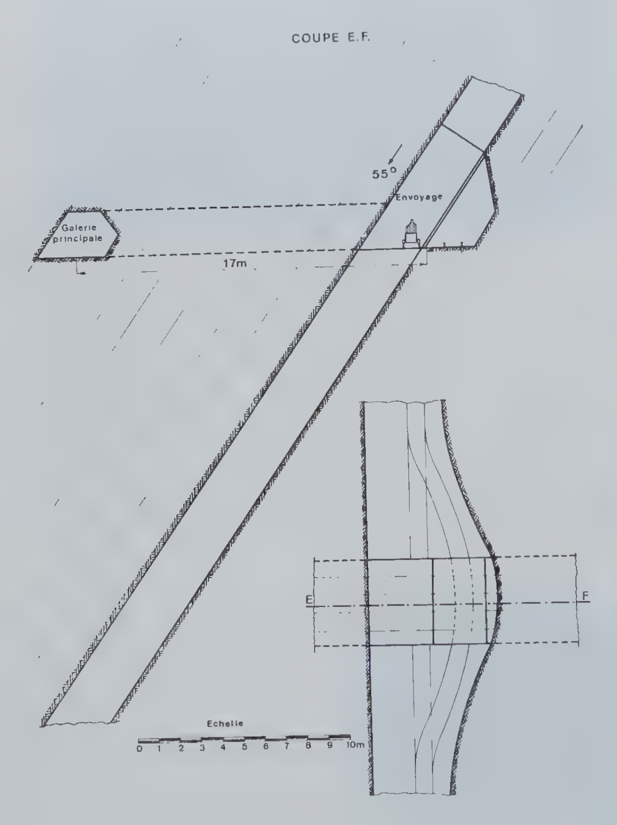


Fig. 7.



Fig. 8.

La galerie principale est creusée de niveau et en suivant la direction des couches. Elle est établie à une vingtaine de mètres au-dessus du puits (fig. 7, coupe E-F). Il y a deux voies de roulage dans la galerie qui mesure 3 à 4 m de largeur et 2 m de hauteur (fig. 8). Il n'y a pratiquement pas de soutènement.

A partir du puits, la galerie mesure un peu plus de 300 m. Elle est humide; les eaux sont recueillies dans une rigole.

De cette galerie en direction partent une série de travers-bancs de petite section et d'une lon-

De hoofdgalerij ligt horizontaal en volgt de richting van de laag. Ze ligt zowat 20 m boven de schacht (fig. 7, doorsnede E-F). Er lopen twee sporen in deze galerij die een breedte heeft van 3 tot 4 m en een hoogte van 2 m (fig. 8). Er is praktisch geen ondersteuning.

De galerij is van de schacht af zowat 300 m lang; ze is vochtig; het water wordt in greppels opgevangen.

Van uit deze richtingsgalerij vertrekken een reeks dwarsgangen met een kleine sectie en een

gueur ne dépassant pas quelques dizaines de mètres. Ces travers-bancs recoupent les couches exploitables par le mur. Il y a 10 à 12 chambres actives exploitées par des équipes de 4 ou 5 hommes placés sous la conduite d'un chef d'équipe (fig. 9). Les chambres sont remblayées à mesure de la progression de l'exploitation vers les couches les plus jeunes. On maintient dans les remblais une petite galerie d'accès au chantier, de section ogivale.

lengte die niet meer bedraagt dan enkele tientallen meters. Deze dwarsgangen snijden de ontgonnen lagen aan bij de vloer; er zijn 10 tot 12 kamers in bedrijf; ze worden ontgonnen door ploegen van 4 tot 5 man die onder de leiding staan van een ploegbaas (fig. 9). De kamers worden opgevuld naarmate de ontginning verder gaat in de richting van de jongere lagen. Men spaart in de vulling een kleine toegangsgalerij, met ovale sectie, uit naar de werkplaatsen.

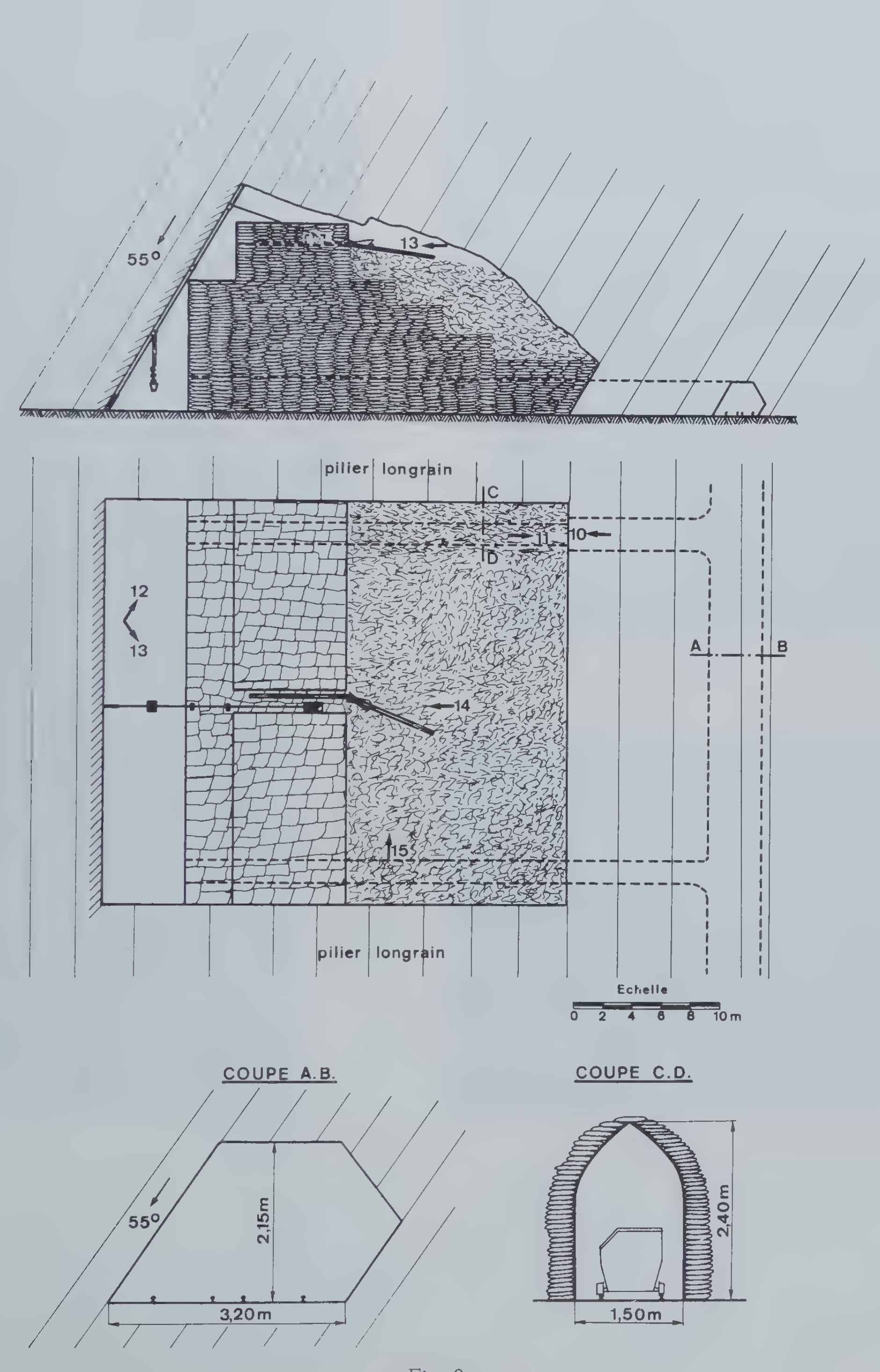


Fig. 9.

Sur la photo de la figure 10, prise de la galerie principale vers la chambre, on voit la zone de transition entre le travers-bancs proprement dit et la galerie établie dans les remblais. L'ouvrier arrête la berline au moyen d'un frein amovible très ingénieux agissant sur les deux roues d'un même côté. La photo de la figure 11 montre la régularité de l'appareillage et de la section. Dans l'axe de l'ogive est tendu le câble coaxial de télécommunication venant de la galerie principale. Les cordes en nylon qui tendent le câble et le maintiennent dans le tournant apparaissent sous forme de traits blancs au centre de la photo.

Op de foto van figuur 10, genomen van de hoofdgalerij naar een kamer, ziet men de overgang van de eigenlijke dwarsgang naar de galerij in de vulling. De arbeider houdt de wagens tegen door middel van een zeer ingenieuse beweegbare rem die werkt op de twee wielen aan éénzelfde kant. Foto 11 toont hoe regelmatig uitrusting en sectie zijn. De coaxiale kabel voor de telecommunicatie, komend uit de hoofdgalerij, hangt in de as van het ogief. De nylon koorden die de kabel spannen en in de bochten op zijn plaats houden zijn als witte strepen zichtbaar in het midden van de foto.

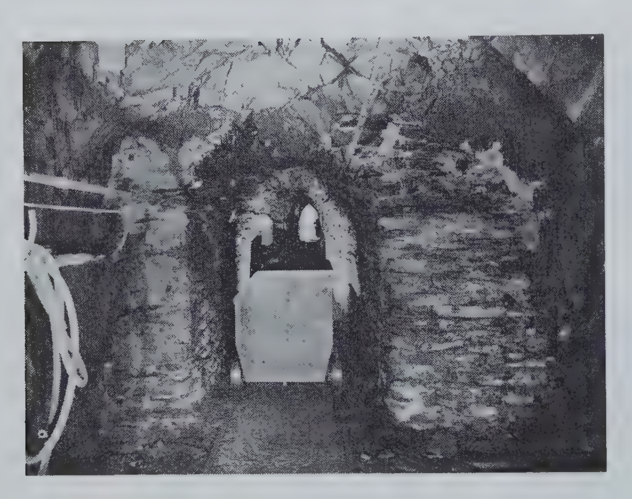


Fig. 10.

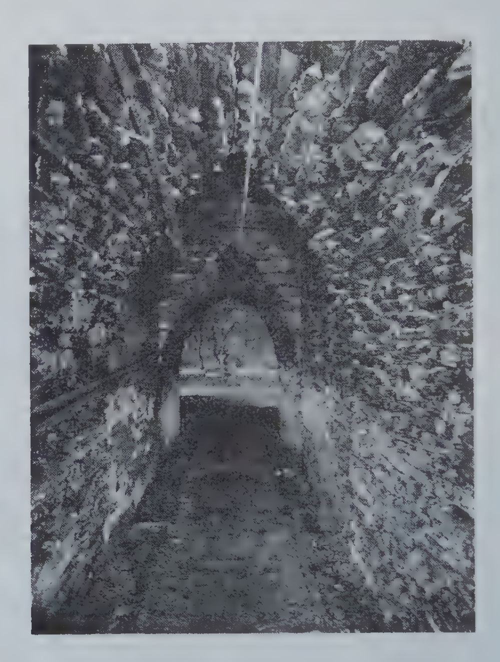


Fig. 11.

Les berlines sont chargées à l'entrée de la chambre (fig. 12). Les dalles brutes y sont amenées par translation sur des supports à rouleau. Certaines dalles jugées trop grandes sont découpées sur place, soit au coin et à la masse, soit avec un brise-roche hydraulique visible, avec sa pompe à main, au centre de la photo.

L'abattage des dalles de toit se fait à l'explosif. Les bancs décollés les uns des autres se détachent à peine de la paroi, car leur chute est arrêtée volontairement par les muraillements en dalles de roche stérile. Les blocs peuvent être pris l'un après l'autre et sélectionnés (fig. 13).

Environ 40 % des pierres abattues dans la chambre sont remontés au jour sous forme de dalles brutes. Les dalles réputées impropres à la fabrication des ardoises sont utilisées pour les muraillements qui servent à la fois de soutènement, de remblai, de plancher de travail et de soutien pour les dalles de toit détachées à l'explosif. Elles sont hissées au sommet des murs au

De wagens worden aan de ingang van de kamer geladen (fig. 12). De bruto platen worden daarheen gebracht op rolwagens. Sommige platen die men te groot acht worden ter plaatse verdeeld, ofwel met de wig en de voorhamer, ofwel met een hydraulische rotsenbreker die men met zijn handpomp in het midden van de foto ziet.

Tegen het dak worden de platen gewonnen met behulp van springstof. De banken, die los zijn van elkaar, geraken moeilijk weg van de wand omdat hun val opzettelijk wordt gebroken door de muurtjes bestaande uit steriel gesteente. De blokken kunnen afzonderlijk genomen en zo geselecteerd worden (fig. 13).

Ongeveer 40 % van de in de kamer gewonnen stenen gaan als bruto platen naar de bovengrond. De platen waarvan men weet dat ze niet deugen voor de fabrikage van leistenen dienen voor de muurtjes die tegelijkertijd gebruikt worden als ondersteuning, vulling, werkvloer en steunpunt voor de platen die in het dak met springstof worden losgemaakt. Ze worden naar de top gehesen

moyen d'un téléphérique dont le treuil électrique est commandé à distance par le machiniste. Les débris fins sont remontés au moyen d'une benne vers le haut et l'arrière de la chambre d'exploitation où ils sont étalés derrière les murs de remblai (fig. 14).



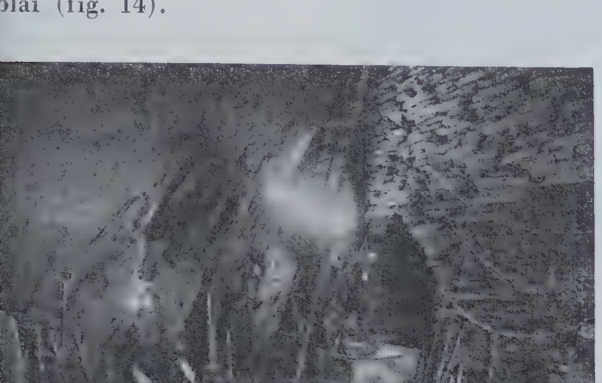


Fig. 12.

La photo de la figure 15 est prise de l'arrière vers les fronts dans l'axe d'un couloir laissé à dessein dans le muraillement pour permettre le passage des stériles. Le treuil du téléphérique est installé dans ce couloir. Pour le caler, on a amoncelé de gros blocs de pierre sur son châssis-support. La poutrelle suspendue au-dessus du talus de remblais et visible à l'avant-plan est utilisée comme monorail et facilite la répartition des stériles. La vue 16 est prise en direction derrière le mur de remblai.

Fig. 14.

door middel van een kabelspoor waarvan de elektrische lier van op afstand bediend wordt door de machinist. De lichtere afval wordt in een bak opgetrokken naar het bovenste en achterste gedeelte van de kamers en daar achter de muur van de vulling gestort (fig. 14).



Fig. 13.

De foto van figuur 15 is genomen van achter naar het front in de as van een gang die met opzet in een muurtje is achtergelaten voor de doorgang van de steriele stenen. De lier van het kabelspoor wordt in deze gang opgericht. Om ze vast te zetten stapelt men zware blokken op haar raam op. De balk die opgehangen is boven de vulling en die men ziet op het voorplan wordt gebruikt als monorail en vergemakkelijkt het verdelen van de afval. Het zicht nr 16 werd genomen volgens de richting, achter de vulling.



Fig. 15.

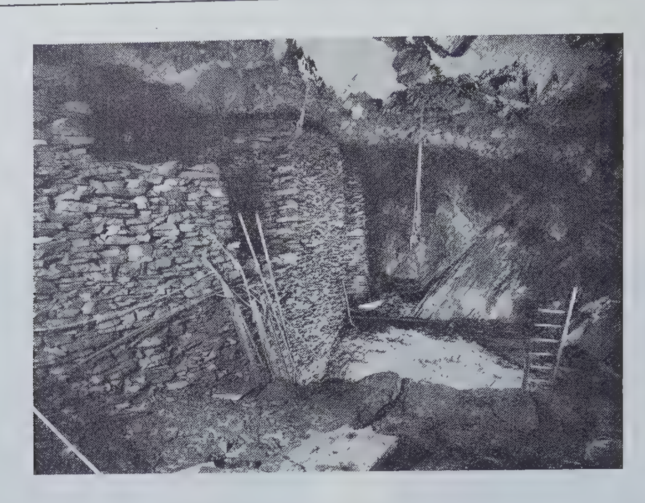


Fig. 16.

3. COMMUNICATION PAR RADIO ENTRE LA SURFACE ET LE FOND

En parcourant la galerie principale à partir du puits, on laisse à gauche une série de travers-bancs dans lesquels nous avons vérifié qu'en *propagation libre* et avec des émetteurs-récepteurs portatifs la communication n'est pas possible au-delà de 2 à 6 m de la galerie principale.

Après les premiers essais de propagation libre, on a déployé 300 m de câble twin dans la galerie principale et on a vérifié qu'avec des émetteurs-récepteurs Saitfone travaillant en 68 MHz la communication était parfaite dans toute la galerie où le câble a été posé. A hauteur d'un travers-bancs, on a accroché au câble, sans contact galvanique, par un simple nœud, une coupe de câble twin que l'on a déroulé dans un travers-bancs jusqu'à une soixantaine de mètres de distance. Un opérateur pouvait alors communiquer avec un autre opérateur situé dans la galerie principale à condition que l'antenne de l'émetteur utilisé dans le travers-bancs soit à moins de 30 cm du câble.

Désireux de faire une installation définitive, on a remplacé le câble twin méplat — simple câble de descente d'antenne de télévision — par un câble bifilaire de construction plus soignée que l'on a accroché en évitant le contact des parois. Les résultats ont été moins bons que précédemment.

Les études théoriques et les expériences réalisées ultérieurement en tunnel nous ont permis de préciser l'origine des défauts de transmission constatés [2].

Lorsqu'une ligne bifilaire placée dans une galerie souterraine est excitée par le rayonnement

[2] L. Deryck. — Etude des modes de propagation d'ondes électromagnétiques susceptibles d'exister sur une ligne bifilaire en milieu souterrain. **Annales des Mines de Belgique.** 1970, n° 7/8, pp. 939/948.

3. RADIOCOMMUNICATIE TUSSEN BOVEN- EN ONDERGROND

Loopt men door de hoofdgalerij van de schacht weg, dan ziet men links een reeks dwarsgangen waarin, volgens wij nagegaan hebben, met vrije voortplanting en met draagbare zenders-ontvangers geen communicatie bestaat voorbij de 2 tot 6 m van de hoofdgalerij af.

Na de eerste proeven met vrije voortplanting heeft men 300 m twin kabel afgerold in de hoofdgalerij en vastgesteld dat de communicatie met zenders-ontvangers Saitfone op 68 MHz volmaakt was in elk punt van de galerij waar de kabel was aangebracht. Ter hoogte van een dwarsgang heeft men aan de kabel, zonder galvanisch contact, enkel met een knoop, een traject twin kabel vastgemaakt dat men vervolgens in de dwarsgang heeft afgerold tot op een zestigtal meter afstand. Een operateur kon dan spreken met een andere die zich in de hoofdgalerij bevond op voorwaarde dat de antenne van de zender in de dwarsgang minder dan 30 cm van de kabel bleef.

In het verlangen om tot een definitieve oplossing te komen heeft men de platte twin kabel — een eenvoudige televisieantennekabel — vervangen door een beter gebouwde tweeaderige kabel die men heeft opgegangen op zodanige wijze dat er geen contact gemaakt werd met de wand. De resultaten waren minder goed dan voorheen.

De theoretische studie en de nadien in tunnel uitgevoerde proeven hebben ons de oorsprong duidelijk gemaakt van deze gebreken die in de transmissie werden opgemerkt [2].

Wanneer een tweeaderige lijn in een ondergrondse galerij wordt opgewekt door de elektro-

[2] L. Deryck. — Studie van de manieren waarop elektromagnetische golven kunnen voortgeplant worden over een tweeaderige lijn in de ondergrond. **Annalen der Mijnen van België,** 1970, nr. 7/8, blz. 939/948.

électromagnétique d'une antenne, on observe dans les deux conducteurs des courants parallèles (fig. 17a) pour lesquels l'atténuation est la même que celle d'une ligne monofilaire. Lorsque les courants parcourant les deux conducteurs sont déphasés de 180° (mode antiparallèle), l'atténuation est plus petite que lorsque les courants sont en phase (mode parallèle). Lorsque le câble bifilaire donne de meilleurs résultats, c'est que le mode antiparallèle y apparaît spontanément (fig. 17b). On a étudié la possibilité de transformation d'un mode parallèle en mode antiparallèle. L'interférence entre les deux modes peut être provoquée notamment par un déséquilibre capacitif résultant de la position de la ligne par rapport à la paroi du tunnel. Il convient donc de provoquer artificiellement les changements de modes, soit en augmentant la capacité d'un des conducteurs, soit en retardant d'une demi-période le courant dans un des conducteurs grâce à une ligne à retard (fig. 17c).

magnetische straling van een antenne, stelt men vast dat er in de twee geleiders, parallele stromen vloeien (fig. 17a) die dezelfde verzwakking vertonen als in een éénaderige lijn. Hebben de stromen in de twee geleiders een fazeverschil van 180° (antiparallele manier) dan is de verzwakking kleiner dan wanneer de stromen in faze zijn (parallele manier). Wanneer de tweeaderige kabel betere resultaten geeft dan is het omdat de antiparallele manier daarin vanzelf ontstaat (fig. 17 b). Men heeft de mogelijkheden onderzocht om de parallele manier om te zetten in de antiparallele. De interferentie tussen de twee voortplantingsmanieren kan namelijk worden veroorzaakt door een capacitief onevenwicht als gevolg van de positie van de kabel ten opzichte van de tunnelwand. Het komt er dus op aan de overgang van de ene manier naar de andere kunstmatig te veroorzaken, hetzij door de capaciteit van één der geleiders op te voeren, hetzij door de stroom in één der geleiders met een halve periode te verschuiven door middel van een vertragende lijn (fig. 17 c).

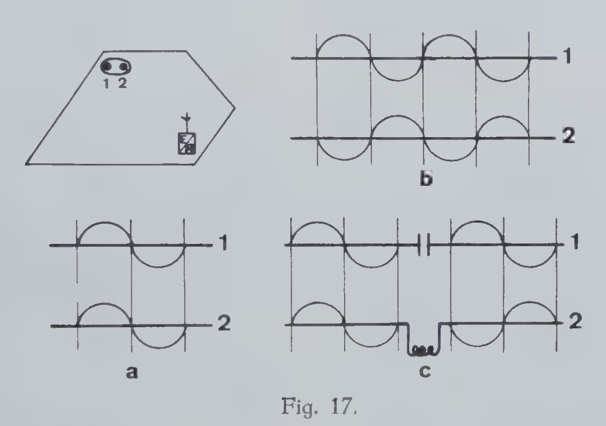


Fig. 17.

On a montré par des expériences en tunnel que l'on peut imaginer des dispositifs symétriques satisfaisant à ces conditions. Leur mise au point nécessite une meilleure maîtrise du phénomène que l'on s'efforce d'atteindre par des mesures de champ et d'atténuation le long des câbles bifilaires.

Entretemps et au vu des premiers succès enregistrés en charbonnage avec le système INIEX/Delogne, on a placé dans la carrière de Warmifontaine un câble coaxial dont une extrémité se trouve dans la cabine du machiniste d'extraction et l'autre extrémité dans une chambre d'exploitation à l'étage de 180 m. Quelques dispositifs rayonnants ont été placés dans le puits et dans les galeries et assurent une communication parfaite entre des walkies-talkies Saitfone travaillant à 36 MHz, quelle que soit la position des opérateurs entre les points extrêmes de la ligne guide d'ondes.

Proeven in een tunnel hebben aangetoond dat men symmetrische apparaten kan bouwen die aan deze wensen voldoen. Hiervoor moet het verschijnsel echter beter gekend zijn en dat tracht men nu te bereiken door metingen van het veld en de verzwakking langs de tweeaderige geleiders.

Inmiddels en ook overeenkomstig de eerste successen die men in de kolenmijnen behaald heeft, met het systeem NIEB/Delogne, heeft men in de groeve van Warmifontaine een coaxiale kabel geplaatst waarvan één uiteinde zich in de kabine van de ophaalmachinist bevindt en het andere in een ontginningskamer op 180 m. In de schacht en in de galerijen werden enkele stralingsapparaten geplaatst, die een volmaakte communicatie geven tussen walkie-talkies Saitfone 36 MHz voor eender welke positie die door de sprekers wordt ingenomen tussen de twee uiterste punten van de golfgeleider.

Dans une deuxième phase d'expérimentation, on raccorde galvaniquement l'émetteur-récepteur de la cabine du machiniste d'extraction et on obtient alors une communication parfaite, non seulement le long de la ligne guide d'ondes, mais également en n'importe quel endroit de la chambre d'exploitation, sans qu'il soit nécessaire de placer aucun câble ni antenne dans la chambre proprement dite.

Nous venons donc de réaliser, avec un système original et sans amplification, une communication parfaite aussi bien entre le fond et la surface qu'entre opérateurs mobiles se déplaçant en n'importe quel endroit de l'exploitation souterraine où le guide d'ondes et les dispositifs rayonnants sont installés.

Le même câble peut être simultanément utilisé pour l'envoi de signaux de télésignalisation ou de télécommande.

Vis-à-vis des réseaux téléphoniques, le système offre les avantages ci-après :

- Il est possible d'appeler quelqu'un en n'importe quel endroit et à n'importe quel moment.
- La conversation peut être entretenue pendant le déplacement des opérateurs. Ceci est particulièrement apprécié lors des inspections et travaux d'entretien dans les puits.
- En cas de rupture du câble, de court-circuit ou de mise à la terre, le rendement de l'installation diminue, mais la communication n'est pas irrémédiablement perdue comme c'est le cas avec les fils de téléphone.

REMERCIEMENTS

La recherche est dirigée par l'Institut National des Industries Extractives à Liège et encouragée par la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier. La Régie des Télégraphes et Téléphones a donné son accord à l'exploitation de diverses fréquences.

La Direction des Ardoisières de Warmifontaine à mis ses chantiers à la disposition des chercheurs* du groupe « Propagation des Ondes Electromagnétiques». Nos remerciements vont en particulier à M. Schoemans, Directeur, et à M. Lodez, Ingénieur, Directeur des Travaux.

(*) R. De Keyser, P. Delogne, L. Deryck, J. Dubois, J. Janssens, R. Liégeois et G. Longrée.

In een tweede faze van de proefneming verbindt men de zenderontvanger in de kabine van de ophaalmachinist galvanisch en dan bekomt men een volmaakte communicatie niet alleen dicht bij de golfgeleider maar ook in eender welk punt van de ontginningskamer, zonder dat in de eigenlijke kamer ook maar één kabel of antenne moet zijn.

Wij hebben dus met een oorspronkelijk systeem en de eraan toegebrachte verbeteringen een volmaakte communicatie tot stand gebracht zowel tussen de ondergrond en de bovengrond als tussen sprekers die zich bevinden op eender welk punt van de ondergrondse werkplaatsen waar de golfgeleider en de stralingsapparaten zijn geïnstalleerd.

Dezelfde kabel kan tegelijkertijd gebruikt worden voor het zenden van signalen voor afstandssignalisatie en afstandsbediening.

Tegenover een telefoonnet heeft het systeem de volgende voordelen :

- Men kan iemand oproepen in eender welk punt op eender welk ogenblik.
- Het gesprek kan voortgezet worden terwijl de sprekers zich verplaatsen; dit is vooral nuttig voor nazicht- en onderhoudswerk in de schachten.
- In geval van breuk van de kabel of kortsluiting of aardsluiting, vermindert het rendement van de installatie, maar de communicatie is niet onherroepelijk verbroken zoals met een telefoonkabel.

DANKBETUIGING

Het onderzoekingswerk staat onder de leiding van het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven te Luik en wordt aangemoedigd door de Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal. De Regie van Telegraaf en Telefoon heeft toestemming gegeven voor het gebruik van verschillende frequenties.

De Directie der Leisteengroeven van Warmifontaine heeft haar werkplaatsen opengesteld voor de vorsers van de groep « Voortplanting van de Elektromagnetische Golven ». Wij danken inzonderheid dhr Schoemans, Directeur, en dhr Lodez, Ingenieur, Directeur der Werken.

Manutention des produits granuleux par air-slides et air-lifts

Het behandelen van korrelige produkten in air-slides en air-lifts

V. CHANDELLE *

RESUME

Les problèmes relatifs au traitement thermique des agglomérés ont amené INIEX à s'intéresser à la technique de fluidisation des produits granuleux. Les air-slides et air-lifts constituent deux procédés de transport qui font appel à cette technique de fluidisation.

Dans le domaine des aéroglissières, on examine les différents paramètres à fixer lors de l'établissement d'un projet. Le choix de la largeur utile de l'engin est particulièrement important : en effet, l'écoulement du produit fluidisé peut être assimilé à un écoulement laminaire et il s'ensuit que le débit solide transporté dépend fortement des dimensions de l'air-slide.

L'air-lift qui est essentiellement un engin de transport vertical offre des avantages particulièrement appréciables dans les domaines de l'usure et de l'entretien. La détermination des courbes caractéristiques de chaque produit à l'air-lift expérimental est très précieuse en vue du dimensionnement de toute installation industrielle.

On cite trois exemples de manutention et de relevage industriels de produits granuleux relatifs au phosphate broyé, au sable chromite et au char-

(*) Ingénieur Civil des Mines INIEX, « Bois du Val-Benoît », 4000 Liège (Belgique).

SAMENVATTING

De problemen inzake thermische behandeling van de agglomeraten zijn voor het NIEB aanleiding geweest om zich in te laten met de techniek van het fluïdiseren van korrelige produkten. Air-slides en air-lifts zijn twee transportmiddelen die op deze fluïdiseertechniek gebaseerd zijn.

Inzake air-slides worden de verschillende parameters onderzocht die moeten bepaald worden bij het opmaken van een ontwerp. Vooral de keuze van de nuttige breedte van het toestel is belangrijk : de stroming van het gefluïdiseerd produkt kan immers gelijkgesteld worden met een laminaire stroming, zodat het debiet van de getransporteerde vaste stof in sterke mate afhangt van de afmetingen van de air-slide.

De air-lift die hoofdzakelijk dient voor het vertikale vervoer heeft bijzonder waardevolle voordelen op het gebied van de slijtage en het onderhoud. Het opstellen van de karakteristieke krommen van elk produkt in de experimentele air-lift is bijzonder belangrijk met het oog op het bepalen van de afmetingen van eender welke industriële installatie.

Er worden drie voorbeelden behandeld van behandeling en het hijsen op industriële schaal van korrelige produkten, namelijk gebroken fosfaat, chromietzand en poederkolen. Bovendien wordt

(*) Burgerlijk Mijningenieur NIEB, « Bois du Val-Benoît », 4000 Liège (België).

bon pulvérisé. On mentionne par ailleurs les premiers résultats acquis avec l'air-lift aspirant.

melding gemaakt van de eerste resultaten die met de zuiger air-lift bekomen werden.

INHALTSANGABE

In Zusammenhang mit der thermischen Veredlung von Briketts hat sich INIEX eingehender mit der Wirbelschichttechnik und ihrer Ausnutzung für die Förderung körnigen Gutes in pneumatischen Rinnen oder Drucklufthebern befaßt.

Im Betrieb von Gleitrinnen spielen eine Reihe von Einflußgrößen eine Rolle, die bei der Ausarbeitung eines Projektes festgelegt werden müssen. Besonders wichtig ist die richtige Bemessung der nutzbaren Breite der Rinnen. Die Fortbewegung des aufgewirbelten Gutes kann als eine Laminarströmung betrachtet werden, woraus folgt, daß die Förderleistung der Rinne weitgehend von ihren Abmessungen abhängt.

Drucklufttheber dienen vor allem der vertikalen Förderung körnigen Gutes und bieten im Hinblick auf Verschleiß und Wartung besondere Vorteile. Die Bestimmung der Verhaltenskurven eines jeden Produktes in einem Versuchsdrucklufttheber liefert wertvolle Aufschlüsse für die Auslegung technischer Anlagen.

Der Verfasser schildert drei Beispiele pneumatischer Förderanlagen im technischen Maßstab für gebrochenes Phosphat, Chromeisenerzsand und Staubkohle. Erste mit einem Saugluftheber erzielte Ergebnisse werden mitgeteilt.

SUMMARY

The problems involved in the thermal treatment of briquettes led INIEX to take an interest in the fluidization of granulous products. Air-slides and air-lifts are the two transport processes which call for this fluidization technique.

In the field of air-slides, the various parameters to be determined when a plan is established, are examined. The choice of the overall width of the machine is particularly important : indeed, the flow of the fluidized product may be compared to a laminar flow, and hence, the output of solid matter transported depends largely on the dimensions of the air-slide.

The air-lift, which is essentially a vertical transport machine, affords particularly useful advantages from the point of view of wear and tear and maintenance. The determination of the characteristic curve of each product in the experimental air-lift is very valuable for deciding the size of any industrial installation.

Three examples of industrial handling and lifting of granulous products concerned in crushed phosphate, chromic sand and pulverized coal are quoted. The first results obtained with the suction air-lift are also mentioned.

---

1. AVANT-PROPOS

Au cours des 15 dernières années, la station d'essai d'INIEX s'est intéressée à la technique de fluidisation des produits granuleux. Cette technique a fait l'objet de nombreuses études semi-industrielles et de quelques développements à grande échelle dans le domaine du séchage et de la carbonisation des charbons fins, ainsi que dans le domaine du traitement thermique des agglomérés par immersion dans des lits de sable fluidisés. La régression de l'industrie charbonnière en Belgique et en Europe Occidentale nous a conduits à une sensible diminution dans ce domaine d'activités. Cependant, nous avons pensé qu'il serait regrettable de laisser se perdre le know-how que nous avons pu acquérir dans ce domaine et c'est ce qui nous a décidés à maintenir un petit groupe de recherche axé sur la manutention industrielle des produits granuleux au moyen d'air-lifts et d'air-slides.

1. VOORWOORD

In de loop van de laatste 15 jaar heeft het proefstation van het NIEB zich bezig gehouden met de fluïdiseertechniek toegepast op korrelige produkten. Deze techniek ontwikkelen was het doel van talrijke semi-industriële proefnemingen en enkele installaties op grote schaal op het gebied van het drogen en carboniseren van fijne kolen, alsook op het gebied van de thermische behandeling van agglomeraten door onderdompeling in een gefluïdiseerd zandbed. De teruggang van de steenkolennijverheid in België en in West-Europa heeft een gevoelige vermindering van onze activiteiten op dit domein veroorzaakt. Toch vonden wij het spijtig de terzake verworven ondervinding te laten verloren gaan en daarom hebben wij een kleine kern behouden voor het onderzoek gericht op de behandeling van korrelige produkten in de nijverheid door middel van air-lifts en air-slides.

Au cours de ces dernières années, des produits très divers ont été testés dans nos installations expérimentales : sable chromite, phosphate broyé, blende grillée, détergents en poudre, matières plastiques granulées, chamottes, etc. Quelques installations industrielles de relevage et de transport ont été calculées par nos soins et nous avons eu l'occasion d'en surveiller la mise en service et les conditions de fonctionnement.

Dans cet exposé très succinct, je rappellerai brièvement le mode de fonctionnement de l'air-slide et de l'air-lift, système INIEX, et quelques-unes des formules qui sont à la base de leur dimensionnement. J'indiquerai ensuite quelques données numériques relatives à des installations industrielles que nous avons eu l'occasion d'étudier.

In de loop van de laatste jaren werden sterk uiteenlopende produkten in onze proefinstallaties getest : chromietzand, gemalen fosfaat, geroosterde blend, poedervormige detergenten, korrelig plastiek, chamotte, enz... Enkele industriële installaties voor hijs- en transportwerk werden door onze zorgen berekend en wij hebben de gelegenheid gehad toe te zien hoe ze werden in bedrijf gesteld en in welke omstandigheden ze werkten.

In deze beknopte uiteenzetting zal ik in het kort herinneren aan de werkwijze van de air-slide en de air-lift, systeem NIEB, en aan enkele formules die aan de werking ten grondslag liggen. Vervolgens geef ik enkele cijfergegevens betreffende industriële installaties die wij hebben kunnen bestuderen.

2. AIR-SLIDE

Le fonctionnement de cet engin de transport horizontal est basé sur le principe suivant : une couche de produit granuleux ou pulvérulent, traversée par un certain débit gazeux et maintenue ainsi en état de fluidisation, acquiert des propriétés qui facilitent sa manutention. En l'occurrence, le soufflage d'air annule l'effet de la pesanteur, réduit les frottements entre particules et confère au produit des propriétés analogues à celles d'un liquide.

L'air-slide (fig. 1) comporte deux compartiments séparés par un élément perméable appelé diffuseur. Le compartiment inférieur dont la hauteur est assez faible est utilisé pour l'amenée de l'air en surpression. L'écoulement du produit est assuré en conférant une pente légère à l'installation (généralement de l'ordre de 5 %). Le produit solide circule à vitesse réduite (en général 1 à 4 m/s) dans le caisson supérieur en glissant sur le diffuseur. Il s'agit donc, en fait, d'un transport réalisé sous la seule influence de la gravité.

2. AIR-SLIDE

De werking van dit horizontaal vervoermiddel berust op het volgende princiep : wanneer een laag van een korrelig of poedervormig produkt doorstroomd wordt door een bepaald gasdebiet en op die manier in een zwevende toestand gebracht wordt, krijgt ze bepaalde eigenschappen die de behandeling vergemakkelijken. Naargeland van het geval kan een luchtstroom de zwaartekracht neutraliseren, de wrijving tussen de deeltjes verminderen en het proukt eigenschappen geven die gelijken op die van een vloeistof.

De air-slide (fig. 1) bevat twee afdelingen die van elkaar gescheiden zijn door een doorlatend element dat diffuseur genoemd wordt. In de onderste afdeling die tamelijk laag is wordt het gas in overdruk aangevoerd. De stroming van het produkt wordt bekomen door een lichte helling te geven aan de installatie (meestal van de grootteorde van 5 %). Het vaste produkt verplaatst zich op kleine snelheid (meestal 1 tot 4 m/s) in de bovenste afdeling terwijl het over de diffuseur glijdt. Het gaat dus in feite om een vorm van vervoer die enkel gebruik maakt van de zwaartekracht.

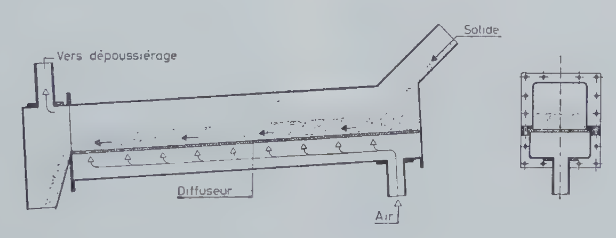


Fig. 1.

D'une manière générale, ce procédé ne peut concerner que des produits solides d'une granulométrie suffisamment fine, dont la teneur en humidité est très faible et qui ne présentent pas de trop fortes tensions interfaciales ou intergranulaires.

In het algemeen kan het procédé enkel in aanmerking komen voor vaste stoffen met een voldoend kleine korrelgrootte, met een zeer lage vochtigheidsgraad en niet te grote interne oppervlaktespanningen of spanningen tussen korrels.

Les avantages qu'il offre sont importants. Ce sont :

1°) l'absence d'éléments mobiles, si ce n'est le ventilateur, ce qui limite l'usure et les fréquences d'entretien;
2°) une parfaite étanchéité;
3°) un encombrement limité;
4°) un parcours qui peut épouser les conditions locales, c'est-à-dire qui ne doit pas nécessairement suivre une ligne droite;
5°) des frais d'investissement réduits;
6°) une consommation énergétique particulièrement faible (on peut tabler en moyenne sur un chiffre de 0,002 à 0,004 kWh par tonne et mètre de transport).

Pour l'établissement d'un projet d'air-slide, quatre grandeurs doivent être fixées :

— la vitesse moyenne de soufflage de l'air à travers le diffuseur,
— la pression au ventilateur,
— la largeur de l'aéroglissière,
— la pente de l'aéroglissière.

Dans la pratique courante, la pression au ventilateur est généralement de l'ordre de 400 à 500 mm CE et la pente du chenal est le plus souvent fixée entre 5 et 10 %.

L'étude préalable portera donc essentiellement sur le choix de la vitesse de soufflage et de la largeur de l'appareil. Il faudra également vérifier l'aptitude du produit à la fluidisation et adopter un type de diffuseur compatible avec les conditions pratiques d'utilisation (et notamment la température du produit).

La vitesse de soufflage peut être déterminée par un essai direct dans un petit air-slide expérimental; en effet, il est facile d'établir la vitesse minimum de fluidisation d'une couche de solide étendue sur le fond de l'air-slide. Par mesure de sécurité et pour tenir compte des variations possibles des caractéristiques du produit, on adoptera pour le calcul une vitesse de soufflage un peu plus élevée. Mais en aucun cas, il n'y a intérêt à augmenter très notablement cette vitesse, car une fois dépassée la vitesse minimum de fluidisation, le débit transporté est très peu influencé par le soufflage et l'utilisation d'un débit d'air excessif ne peut conduire qu'à un accroissement de l'émission de poussières, une complication des installations de dépoussiérage et une augmentation de l'énergie consommée.

Il reste le problème essentiel de la détermination de la largeur de l'air-slide. D'une façon générale, ce problème ne peut être résolu qu'expérimentalement par la transposition des données relatives à un air-slide existant ou par la trans-

Het procédé heeft belangrijke voordelen, namelijk :

1°) geen bewegende delen, buiten de ventilator, vandaar beperking van slijtage en onderhoudsbeurten;
2°) volledige dichtheid;
3°) beperkte omvang;
4°) de loop kan aangepast worden aan de omstandigheden ter plaatse, dit wil zeggen dat niet noodzakelijkerwijs een rechte lijn moet gevolgd worden;
5°) beperkte investeringen;
6°) een bijzonder klein energieverbruik (men mag gemiddeld rekenen op 0,002 tot 0,004 kWh per tonmeter).

Voor het uitwerken van een ontwerp van air-slide moet men vier grootheden vaststellen :

— de gemiddelde snelheid waarmee de lucht door de diffuseur wordt geblazen;
— de druk aan de ventilator;
— de breedte van de luchtschuif;
— de helling van de luchtschuif.

Praktisch ligt de ventilatordruk bij de 400 tot 500 mm waterkolom terwijl de helling van het kanaal meestal tussen 5 en 10 % ligt.

De voorafgaande studie zal dan ook vooral gaan over de keuze van de blaassnelheid en de breedte van het apparaat. Men moet ook nagaan in hoeverre het produkt zich leent tot het fluïdiseren en een diffuseur moeten kiezen die bruikbaar is in de gegeven werkingsomstandigheden (bij voorbeeld in verband met de temperatuur van het produkt).

De blaassnelheid kan door rechtstreekse proefneming worden vastgesteld in een kleine experimentele air-slide; het is immers gemakkelijk de minimum fluïdiseersnelheid vast te stellen voor een vaste laag uitgestrekt op de bodem van een air-slide. Uit voorzorg en om rekening te houden met mogelijke veranderingen in de kenmerken van het produkt neemt men voor de berekening een iets hogere blaassnelheid. Men heeft er echter geen enkel voordeel bij deze snelheid merkelijk te verhogen, want eens dat de minimum fluïseersnelheid overschreden is wordt het vervoerde debiet nog slechts zeer weinig beïnvloed door de gasstroom, terwijl teveel lucht enkel kan leiden tot een overdreven toeneming van het stof, tot meer ingewikkelde ontstoffingsinstallaties en een vermeerdering van de verbruikte energie.

Blijft het voorname probleem van de breedte der air-slide. In het algemeen kan dit probleem enkel experimenteel worden opgelost door transpositie van de gegevens die betrekking hebben op een bestaande air-slide of door transpositie van

position des données que l'on peut mesurer lors d'un essai réalisé dans un air-slide expérimental.

Avant de développer le problème de cette transposition, il est peut-être utile de préciser quelles pourraient être les conditions optimales de fonctionnement d'un air-slide et quelles sont en fait les conditions que l'on observe dans la plupart des engins existants. Les formules d'aérodynamique et d'hydraulique font intervenir la notion du «diamètre hydraulique» qui a pour valeur (suivant Chézy) le rapport entre la section S offerte à l'écoulement du fluide et le périmètre mouillé. Dans le cas particulier d'un air-slide rectangulaire de section utile S, il est aisé de démontrer que le diamètre hydraulique maximum est obtenu lorsque le rapport $b/h = 2$, b représentant la largeur utile de l'air-slide et h la hauteur de couche. Ceci signifie que, parmi tous les air-slides de surface utile S, c'est celui qui réalise la condition $b/h = 2$ qui fournira la plus grande vitesse d'écoulement, partant le plus grand débit.

Si l'on se place, par contre, du point de vue de la consommation d'énergie de soufflage par tonne transportée, on est tenté de recommander l'utilisation d'air-slides plus étroits fonctionnant avec une plus grande hauteur de couche, autrement dit $h/b \geqslant 1$. En effet, le débit d'air nécessaire au fonctionnement de l'air-slide est directement proportionnel à la largeur de l'appareil, alors que la pression nécessaire au ventilateur augmente moins vite que la hauteur de couche.

Ces considérations basées sur les formules d'hydraulique et sur l'économie d'énergie conduisent à penser que la zone optimale de fonctionnement des air-slides se situe pour des valeurs du rapport h/b de l'ordre de 1/2 à 1. Cependant, si l'on observe les conditions réelles de fonctionnement des air-slides industriels, on constate que d'une manière très générale la hauteur de couche du produit reste inférieure à $b/2$. Il apparaît comme évident que ces air-slides sont surdimensionnés et qu'ils seraient capables de transporter des débits très supérieurs à ceux pour lequels ils ont été effectivement construits. La première idée qui vient à l'esprit est que le constructeur a choisi un coefficient de sécurité élevé pour se mettre à l'abri des risques d'exploitation. Nous croyons cependant que ces surdimensionnements résultent dans une large mesure d'une méconnaissance d'une des lois fondamentales de l'écoulement des lits fluidisés et de l'utilisation intempestive des formules applicables aux vrais liquides. En effet, si tous les techniciens se souviennent qu'en matière d'hydraulique on peut avoir affaire à

de gegevens die men kan opmeten tijdens proeven die in een experimentele air-slide worden uitgevoerd.

Vooraleer dit transpositieprobleem uit te diepen kunnen wij misschien even preciseren welke de optimale werkingsvoorwaarden van een air-slide zouden kunnen zijn en welke voorwaarden men in werkelijkheid vaststelt in de meeste bestaande installaties. In de aerodynamische en hydraulische formules komt het begrip « hydraulische doormeter » voor waarvan de waarde (volgens Chézy) gelijk is aan de verhouding tussen de sectie S, voor de stroming van het fluïdum en de omtrek van de bevochtiging. In het bijzonder geval van een rechthoekige air-slide met een nuttige sectie S kan men gemakkelijk aantonen dat de hydraulische doormeter het grootst is wanneer de verhouding b/h gelijk is aan 2, wanneer b de nuttige breedte van de air-slide voorstelt en h de hoogte van de laag. Dit betekent dat van alle air-slides met nuttige sectie S, diegene de hoogste stromingssnelheid en dus ook het grootste debiet zal geven, waarin de voorwaarde $b/h = 2$ vervuld is.

Plaatst men zich daarentegen op het standpunt van het verbruik aan blaasenergie per vervoerde ton, dan zou men geneigd zijn de voorkeur te geven aan smallere air-slides met een grotere laagdikte, met andere woorden, $b/h \geqslant 1$. Het luchtdebiet dat vereist is voor de werking van de air-slide is immers rechtstreeks evenredig met de breedte van het apparaat, terwijl de druk aan de ventilator minder snel toeneemt met de laagdikte.

Deze beschouwingen, gebaseerd op de hydraulische formules en de energiebesparing, schijnen erop te wijzen dat de optimale werking van air-slides bekomen wordt voor een verhouding h/b van de orde van 1/2 tot 1. Ziet men echter hoe air-slides in werkelijkheid functioneren dan ziet men dat de laagdikte van het produkt zeer algemeen kleiner blijft dan $b/2$. Het schijnt vanzelfsprekend dat deze air-slides te grote afmetingen hebben en in staat zouden zijn veel grotere debieten te vervoeren dan die waarvoor ze in feite gebouwd zijn. Het eerste waaraan men denkt is dat de bouwer een hoge veiligheidscoëfficiënt heeft gekozen om zich te wapenen tegen de risico's van het bedrijf. Wij denken daarentegen dat deze overdreven afmetingen grotendeels hun oorsprong vinden in een onvoldoende kennis van de basiswetten over de stroming in gefluïdiseerd bed en het onverantwoord gebruik van de formules die op echte vloeistoffen toepasselijk zijn. Alle techniekers weten inderdaad dat er op hydraulisch gebied twee manieren van stroming mogelijk zijn (de laminaire stroming en de turbulente),

deux formes d'écoulement (l'écoulement laminaire et l'écoulement turbulent), leur expérience quotidienne les porte à penser que le régime laminaire n'est qu'une curiosité de laboratoire et que, dans toutes les applications industrielles à grande échelle, on se trouve forcément en présence d'écoulement du type turbulent.

C'est cependant un écoulement laminaire qui se produit dans le pseudo-liquide des air-slides. On peut d'ailleurs en trouver l'explication dans le fait que les grains de solide ont une masse d'un ordre de grandeur infiniment plus grand que la masse des molécules d'un liquide et que leur très grande inertie s'oppose à l'apparition des phénomènes de turbulence. Cet état de choses entraîne des conséquences très importantes lorsqu'on envisage la transposition des résultats expérimentaux. L'étude des écoulements laminaires en conduites de section circulaire aboutit à la formule de Poiseuille qui peut s'écrire comme suit :

$$U = \frac{dh}{dl} \cdot \frac{\delta \cdot d_0^2}{32\,\mu} \quad (1)$$

dh/dl = perte de charge par unité de longueur,
μ = le coefficient de viscosité absolue,
U = la vitesse moyenne d'écoulement,
d_0 = le diamètre de la conduite,
δ = la densité du fluide.

Si l'on compare ce résultat à celui que l'on peut obtenir en régime turbulent, on note 4 différences essentielles :

pour lequel $U = \sqrt{\frac{dh}{dl} \cdot \frac{2\,d_0}{\lambda}}$

λ = coefficient de résistance de conduite.

En régime laminaire, la vitesse moyenne d'écoulement est :

— proportionnelle à la densité du fluide,
— inversément proportionnelle à la viscosité du fluide,
— proportionnelle à la hauteur de charge,
— proportionnelle au carré du diamètre de la conduite.

En régime turbulent, la vitesse moyenne d'écoulement est :

— indépendante de la densité du fluide,
— indépendante de la viscosité du fluide,
— proportionnelle à la racine carrée de la hauteur de charge,
— proportionnelle à la racine carrée du diamètre de la conduite.

La dernière de ces caractéristiques influe directement sur la transposition des résultats et mon-

maar de dagelijkse ondervinding leert hun dat de laminaire stroming een uitzondering blijft voor het laboratorium en dat men in alle grote industriële toepassingen noodzakelijkerwijze te doen heeft met het turbulente stromingstype.

Toch treedt in de pseudo-vloeistoffen van de air-slide een laminaire stroming op. Dit wordt ten andere verklaard door het feit dat de massa van de vaste korrels oneindig veel groter is dan de massa van een vloeistofmolecule en dat hun massa elk optreden van een turbulentieverschijnsel onmogelijk maakt. Deze toestand is zeer belangrijk in zijn gevolgen wanneer men experimentele gegevens wil transposeren. De studie van laminaire stromingen in cirkelvormige leidingen leidt tot de formule van Poiseuille die kan geschreven worden als volgt :

$$U = \frac{dh}{dl} \cdot \frac{\delta \cdot d_0^2}{32\,\mu} \quad (1)$$

dh/dl = ladingsverlies per eenheid van lengte,
μ = coëfficiënt van absolute viscositeit,
U = gemiddelde stromingssnelheid,
d_0 = doormeter van de leiding,
δ = dichtheid van het fluïdum.

Vergelijkt men dit resultaat met hetgeen men kan bekomen in turbulent regime, dan noteert men 4 belangrijke verschillen :

waarvoor $U = \sqrt{\frac{dh}{dl} \cdot \frac{2\,d_0}{\lambda}}$

λ = weerstandscoëfficiënt van de leiding.

In het laminaire regime is de gemiddelde stromingssnelheid :

— evenredig met de dichtheid van het fluïdum;
— omgekeerd evenredig met de viscositeit van het fluïdum;
— evenredig met de hoogte van de lading;
— evenredig met het kwadraat van de doormeter der leiding.

In het turbulente regime is de gemiddelde stromingssnelheid :

— onafhankelijk van de dichtheid van het fluïdum;
— onafhankelijk van de viscositeit van het fluïdum;
— evenredig met de vierkantswortel uit de ladingshoogte;
— evenredig met de vierkantswortel uit de doormeter der leiding.

De laatste van deze kenmerken heeft een rechtstreekse invloed op het transponeren van de

tre que, dans le cas des air-slides, le débit transporté est beaucoup plus dépendant des dimensions de la section que dans le cas d'un écoulement liquide. En fait, le débit pondéral d'un air-slide fonctionnant en régime laminaire peut s'exprimer par la formule suivante :

$$Q_{t/h} = K \,.\, b^x \,.\, h^y \,.\, \sin \alpha \qquad (2)$$

K est une constante qui dépend de la densité et des caractéristiques physiques du produit transporté;

α est l'angle de pente de l'aéroglissière et $\sin \alpha = dh/dl$ la perte de charge par unité de longueur;

x et y sont des exposants dont la valeur dépend du rapport h/b et dont la somme reste égale à 4.

Pour des couches très minces ($h \ll 1/2\ b$), c'est la hauteur de couche qui constitue le facteur limitatif de la vitesse d'écoulement et la formule (2) peut s'écrire :

$$Q = K \,.\, b \,.\, h^3 \,.\, \sin \alpha \qquad (2')$$

Pour des couches normales où $h \cong 1/2\ b$, on a

$$Q = K \,.\, b^2 \,.\, h^2 \,.\, \sin \alpha \qquad (2'')$$

Pour des air-slides étroits et fortement chargés ($h > b/2$), c'est la largeur qui limite la vitesse d'écoulement et la formule (2) devient :

$$Q = K \,.\, b^3 \,.\, h \,.\, \sin \alpha \qquad (2''')$$

La figure 2 résume ces trois possibilités. Dans la plupart des air-slides industriels fonctionnant avec une faible hauteur de couche, on peut admettre que la valeur de l'exposant y reste comprise entre 2 et 3. Ceci signifie qu'il est généralement possible de doubler le débit transporté sans augmentation de l'énergie consommée, si on peut tolérer une augmentation de hauteur de couche de l'ordre de 30 à 40 %. Cette conclusion appelle cependant quelques réserves, car les formules ci-dessus ne tiennent compte que des écoulements en alignement droit. En pratique, les problèmes de mise en vitesse ou de changement de direction du produit présentent une importance considéra-

resultaten en toont aan dat het vervoerde debiet in het geval van een air-slide veel meer afhangt van de afmetingen der sectie dan in het geval van de stroming van een vloeistof. In werkelijkheid kan het gewichtsdebiet van een air-slide die in laminair regime werkt, uitgedrukt worden door de volgende formule :

$$Q_{t/h} = K \,.\, b^x \,.\, h^y \,.\, \sin \alpha \qquad (2)$$

K is een constante die afhangt van de dichtheid en de fysieke kenmerken van het vervoerde produkt;

α is de hellingshoek van de luchtschuif en $\sin \alpha = dh/dl$ het ladingsverlies per eenheid van lengte;

x en y zijn exponenten waarvan de waarde afhangt van de verhouding h/b en waarvan de som altijd gelijk is aan 4.

Voor zeer dunne lagen ($h \ll 1/2\ b$) is het de laagdikte die een beperking stelt aan de stromingssnelheid, en kan de formule (2) geschreven worden als volgt :

$$Q = K \,.\, b \,.\, h^3 \,.\, \sin \alpha \qquad (2')$$

Voor normale lagen waarbij $h \cong 1/2\ b$ wordt dit

$$Q = K \,.\, b^2 \,.\, h^2 \,.\, \sin \alpha \qquad (2'')$$

Voor smalle en dik geladen air-slides ($h > b/2$) is het de breedte die een grens stelt aan de stromingssnelheid en wordt de formule (2)

$$Q = K \,.\, b^3 \,.\, h \,.\, \sin \alpha \qquad (2''')$$

Figuur 2 vat deze drie mogelijkheden samen. Voor de meeste air-slides van industrieel formaat, die werken met een kleine laagdikte, kan men aannemen dat de waarde van de exponent y begrepen blijft tussen 2 en 3. Dit betekent dat het in het algemeen mogelijk is het vervoerde debiet te verdubbelen zonder het energieverbruik te verhogen, wanneer een toeneming van de laagdikte van 30 tot 40 % mag aangenomen worden. Dit besluit vergt enig voorbehoud, want de hierboven aangehaalde formules gaan enkel op voor rechtlijnige stroming. In de praktijk hebben de problemen in verband met het in beweging brengen en van richting doen veranderen van het pro-

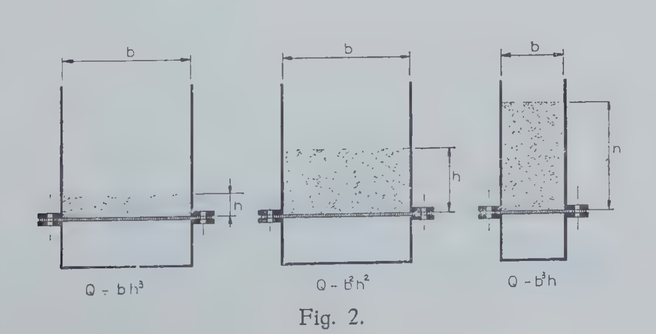


Fig. 2.

ble; il convient d'en tenir compte si on envisage d'augmenter très notablement le débit d'un air-slide.

Les formules présentent également un autre intérêt. En effet, si on exprime la consommation d'énergie par unité de longueur d'air-slide et par tonne de produit transporté, on arrive à la formule

$$E/Q = \frac{P \,.\, v \,.\, b}{\rho \,.\, K \,.\, b^x \,.\, h^y \,.\, \sin \alpha} \qquad (3)$$

avec les notations :

E = énergie consommée par mètre d'air-slide,
P = pression du ventilateur,
v = vitesse de soufflage,
ρ = rendement du ventilateur,
Q = débit pondéral solide.

Ceci signifie que, si l'on compare deux air-slides de largeurs différentes, fonctionnant dans les mêmes conditions de remplissage (b/h = constante), l'énergie consommée varie proportionnellement à la largeur du chenal, alors que le débit transporté est fonction de la 4e puissance de cette dimension.

Finalement, la consommation d'énergie par tonne transportée est proportionnelle à $1/b^3$ et ceci montre à quel point l'air-slide est un engin particulièrement bien adapté à la réalisation de très gros débits.

En résumé, nous sommes d'avis que le développement de la technique de l'air-slide est encore loin d'avoir porté tous ses fruits, que par un dimensionnement plus rigoureux, de grandes économies sont encore actuellement possibles et que,

dukt een bijzonder groot belang; wil men het debiet van een air-slide merkelijk verhogen dan moet men ermee rekening houden.

De formules hebben nog een andere betekenis. Drukt men immers het energieverbruik uit per eenheid van lengte van de air-slide en per ton vervoerd produkt, dan komt men tot volgende formule :

$$E/Q = \frac{P \,.\, v \,.\, b}{\rho \,.\, K \,.\, b^x \,.\, h^y \,.\, \sin \alpha} \qquad (3)$$

met volgende symbolen :

E = energie verbruikt per meter air-slide,
P = druk van de ventilator,
v = blaassnelheid,
ρ = rendement van de ventilator,
Q = gewichtsdebiet in vaste stof.

Dit betekent het volgende : vergelijkt men twee air-slides met verschillende breedte, even hoog gevuld (h/b = constante), dan blijft het energieverbruik evenredig met de breedte van het kanaal, terwijl het vervoerde debiet een functie is van de vierde macht van deze afmeting.

Tenslotte is het energieverbruik per vervoerde ton evenredig met $1/b^3$ en hieruit blijkt hoezeer de air-slide als vervoermiddel aangepast is aan zeer grote debieten.

Tot besluit zijn wij van mening dat de ontwikkeling inzake techniek van air-slides nog lang niet volledig uitgeput werd; dat momenteel nog grotere besparingen kunnen bekomen worden door een strengere bepaling van de afmetingen en dat het

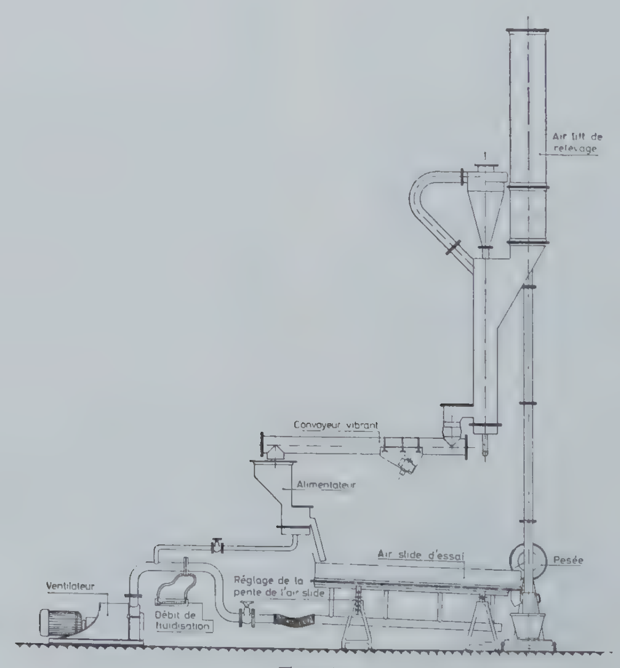


Fig. 3.

dans le domaine de très gros débits transportés sur des parcours rectilignes de plus ou moins grande longueur, il devrait être possible de ramener la consommation d'énergie par tonne transportée à des valeurs d'un ordre de grandeur très inférieur à ceux que l'on peut noter dans les installations industrielles existantes. Nous poursuivons d'ailleurs l'étude de ces problèmes dans l'installation expérimentale de notre station d'essai dont la figure 3 donne une représentation schématique.

moet mogelijk zijn, daar waar grote debieten worden vervoerd over rechtlijnige trajecten met min of meer grote lengte, het energieverbruik per vervoerde ton te verminderen tot een waarde die heel wat lager ligt dan hetgeen men aantreft in bestaande industriële installaties. Wij zetten de studie van deze problemen ten andere voort in de experimentele installatie van ons proefstation dat schematisch voorgesteld wordt op figuur 3.

3. AIR-LIFT INIEX

L'air-lift est essentiellement un engin de transport pneumatique vertical. Notre procédé diffère des transports pneumatiques conventionnels par le fait que la mise en charge du produit est réalisée par un lit fluidisé constitué par le produit à transporter contenu dans une cuve d'alimentation d'assez grande hauteur dont la partie supérieure reste à la pression atmosphérique. Grosso modo, un air-lift comprend les trois organes essentiels suivants (fig. 4) :

1) Le tube élévateur d'un diamètre relativement faible parcouru par un courant ascensionnel d'air et dans lequel s'effectue l'entraînement pneumatique.

3. AIR-LIFT NIEB

De air-lift is in wezen een toestel voor vertikaal pneumatisch vervoer. Ons procédé verschilt van het gebruikelijk pneumatisch vervoer door het feit dat het produkt wordt in beweging gebracht door een gefluïdiseerd bed bestaande uit het te vervoeren produkt opgesloten in een tamelijk hoge voedingskuip waarvan het bovenste gedeelte onder atmosferische druk blijft. Grosso modo bevat een air-lift de volgende hoofdorganen (fig. 4).

1) De stijgbuis met betrekkelijk kleine doormeter, die doorlopen wordt door een opstijgende luchtstroom, waarin het hydraulisch transport plaats vindt.

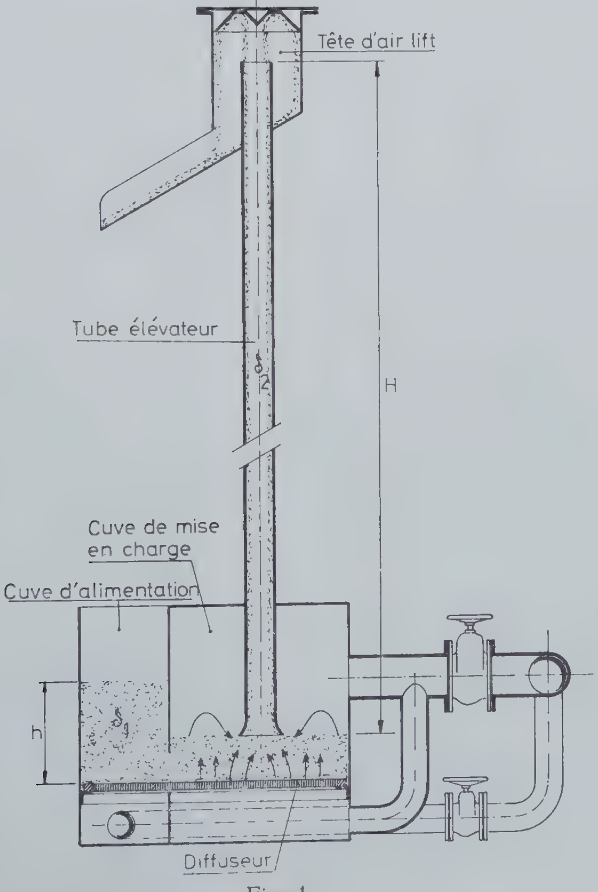


Fig. 4.

2) Une cuve de mise en charge fluidisée disposée concentriquement par rapport au tube élévateur et qui maintient une pression relativement élevée à l'orifice inférieur de celui-ci.
3) Une cuve d'alimentation également fluidisée, qui communique à sa partie inférieure avec la cuve de mise en charge et qui joue le rôle de colonne d'équilibre.

La plus grande partie du débit d'air servant à l'entraînement du produit est amenée directement à la cuve de mise en charge. Seul, le débit destiné à la fluidisation des deux cuves traverse le diffuseur.

Le fonctionnement de l'air-lift est basé sur le principe des vases communicants. Le soufflage d'air sous la cuve d'alimentation met le produit à l'état fluidisé et y fait naître une pression hydrostatique dont la valeur est égale au produit $h. \delta_1$ (h étant la hauteur de la couche et δ_1 sa densité de l'ordre de 1500 kg/m^3 pour des produits du type sable). L'air de dilution introduit par la cloche disperse les particules dans un grand volume d'air et ramène la densité du mélange contenu dans le tube élévateur à une valeur δ_2 beaucoup plus faible (de 10 à 50 kg/m^3). Il s'ensuit qu'en dépit de la grande hauteur du tube élévateur (H), la contrepression statique $H. \delta_2$ reste très inférieure à $h. \delta_1$. C'est la différence entre ces deux produits qui constitue la pression motrice et met le solide en mouvement en compensant les pertes de charge dans tout le système.

D'une manière générale, on enregistre des vitesses d'air dans le tube de l'ordre de 8 à 12 m/s, ce qui signifie que, compte tenu du phénomène de glissement, le produit solide y circule à une vitesse encore moindre (de l'ordre de 5 à 6 m/s). Ceci nous amène à évoquer les principaux avantages du système de relevage par air-lift :

1°) Mis à part le ventilateur d'alimentation, le système est dépourvu d'organes en mouvement, d'où un coût d'installation modique, un entretien réduit et une grande sécurité de fonctionnement.
2°) Les vitesses d'entraînement sont faibles si on les compare aux vitesses atteintes dans les autres systèmes de transport pneumatique. Ce facteur entraîne aussi des économies tant au point de vue énergie qu'usure.
3°) L'encombrement de l'installation est minime par rapport au tonnage transporté.
4°) La granulométrie du produit ne subit pratiquement pas de dégradation à l'occasion de son passage dans l'air-lift.
5°) Les rendements énergétiques des air-lifts restent bien entendu inférieurs aux rendements des élévateurs mécaniques tels que l'élévateur à godets. Cependant dans ce domaine, on a

2) Een gefluïdiseerde drukkuip die concentrisch is met de stijgbuis en aan de onderste monding daarvan een betrekkelijk hoge druk in stand houdt.
3) Een eveneens gefluïdiseerde voedingskuip, die langs onder in verbinding staat met de drukkuip en de rol speelt van evenwichtskolom.

Het grootste gedeelte van de lucht die vereist is om het produkt mee te slepen wordt rechtstreeks aangevoerd onder aan de drukkuip. Alleen het debiet vereist voor het fluïdiseren van beide kuipen wordt aangevoerd langs de diffuseur.

De werking van de air-lift steunt op het principe van de communicerende vaten. De luchtdruk onder de voedingskuip fluïdiseert het produkt en geeft het een hydrostatische druk met een waarde gelijk aan $h. \delta_1$ (h is de hoogte van de laag en δ_1 de dichtheid, die van de grootteorde is van 1.500 kg/m^3 voor zandige stoffen). De verdunningslucht die langs de klok wordt ingevoerd verspreidt de deeltjes in een groot luchtvolume en vermindert de dichtheid van het mengsel in de stijgbuis tot een waarde δ_2 die veel lager ligt (van 10 tot 50 kg/m^3). Het gevolg is dat de tegendruk $H. \delta_2$, in weerwil van de grote hoogte H van de stijgbuis, veel kleiner blijft dan $h. \delta_1$. Het verschil tussen deze twee produkten geeft de motorische kracht en zet de vaste stof in beweging terwijl de ladingsverliezen van heel het systeem in evenwicht worden gehouden.

In het algemeen meet men in de buis luchtsnelheden van de orde van 8 tot 12 m/s; houdt men rekening met de slip dan betekent dit dat de vaste stof er een snelheid heeft die nog lager ligt (van de orde van 5 tot 6 m/s). Vandaar dat wij volgende voordelen toekennen aan het hijsen met air-lift:

1°) Met uitzondering van de voedingsventilator heeft het toestel geen bewegende organen, vandaar matige oprichtingskosten, een beperkt onderhoud en een hoge bedrijfszekerheid.
2°) De meeslepingssnelheid is laag, vergeleken met de snelheid die in andere systemen voor pneumatisch vervoer bekomen wordt. Ook deze factor is voordelig zowel uit oogpunt energie als uit oogpunt slijtage.
3°) De installatie heeft een minieme omvang in vergelijking tot de vervoerde tonnage.
4°) De korrelverdeling van het produkt vermindert bijna niet door zijn verblijf in de air-lift.
5°) Het energetisch rendement van een air-lift blijft wel te verstaan onder het rendement van mechanische elevatoren zoals de emmerketting. In dat opzicht heeft men evenwel

réalisé des progrès substantiels, par exemple, en remplaçant la section circulaire des tubes par une section annulaire obtenue par le placement d'une carotte centrale.

Nous disposons à notre station d'essai d'un air-lift semi-industriel pourvu d'un tube élévateur de 190 mm de diamètre, à carotte de 100 mm de diamètre; la hauteur de relevage est de 12 m. Cet air-lift nous permet de déterminer les éléments de calcul de toute installation industrielle.

grote vooruitgang gemaakt, bij voorbeeld door het vervangen van de cirkelvormige stijgbuis door een ringvormige, hetgeen men bekomt door het plaatsen van een centrale kern.

Wij hebben in ons proefstation de beschikking over een semi-industriële air-lift met een stijgbuis van 190 mm doormeter, met een kern van 100 mm doormeter; de hijshoogte is 12 m. Met deze air-lift kunnen wij de elementen bepalen voor het berekenen van eender welke industriële installatie.

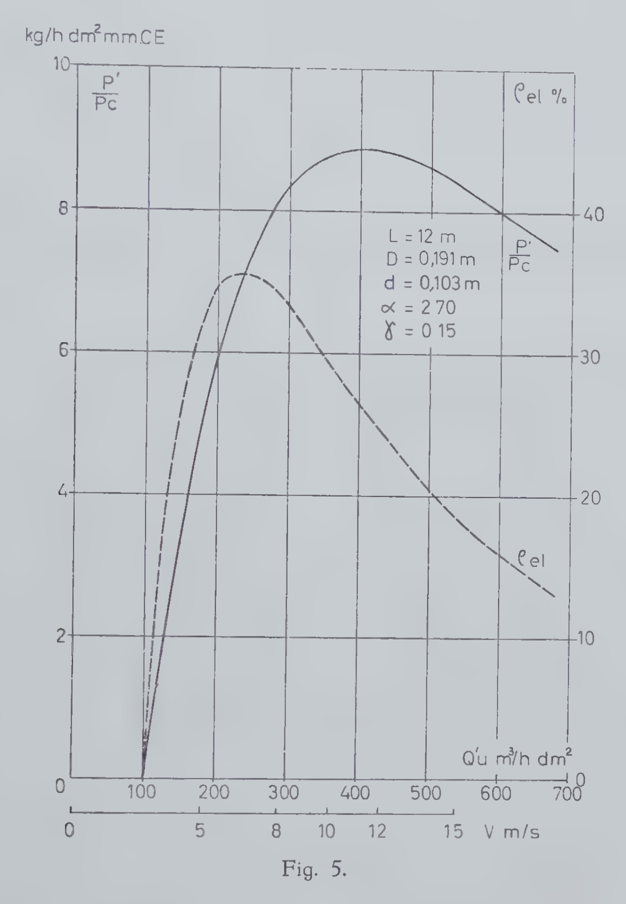


Fig. 5.

D'une manière plus précise, nous établissons les courbes caractéristiques d'un produit testé dans la mesure où nous disposons d'une quantité suffisante de ce produit, de l'ordre de 1 à 2 tonnes suivant sa densité. La première (P'/Pc) de ces courbes caractéristiques (fig. 5) donne, à une certaine échelle, la quantité de solide relevée en fonction du débit d'air d'entraînement. On constate qu'un débit d'air minimal est nécessaire pour amorcer le processus d'entraînement. Ensuite, le débit solide croît très fortement pour une faible augmentation du débit d'air. On arrive ainsi rapidement au maximum du débit solide; au-delà de ce point, toute augmentation supplémentaire du débit d'air entraîne une lente diminution du débit de solide. Parallèlement, la seconde courbe caractéristique (ρ_{el}) donne l'évolution du rende-

Meer bepaald stellen wij de karakteristieke krommen op voor een getest produkt in zoverre wij over een voldoende hoeveelheid van dat produkt beschikken, zowat 1 tot 2 ton volgens zijn dichtheid. De eerste (P'/Pc) van deze karakteristieke krommen (fig. 5) geeft op een bepaalde schaal de hoeveelheid opgehesen vaste stof in functie van het debiet transportlucht. Men ziet dat een minimum luchtdebiet vereist is om de beweging in gang te zetten. Vervolgens stijgt het debiet in vaste stof zeer sterk voor een kleine vermeerdering van het luchtdebiet. Zo komt men snel tot het maximum vast debiet; eens over dit punt heen veroorzaakt elke supplementaire verhoging van het luchtdebiet een langzame vermindering van het debiet in vaste stof. Terzelfdertijd geeft de tweede karakteristieke kromme (ρ_{el})

ment énergétique du tube élévateur toujours en fonction du débit d'air. Ce rendement du tube élévateur est le rapport de l'énergie potentielle gravifique fournie au produit relevé à l'énergie pneumatique consommée par le tube élévateur. La zone des rendements maxima se situe à gauche de la zone des débits solides maxima et les vitesses d'air optimales oscillent généralement entre 8 et 12 m/s.

Nous avons ainsi été amenés à étudier les possibilités de relevage par air-lift de produits tels que le charbon pulvérisé, le sable, le phosphate broyé ou brut, la blende grillée, les poudres détergentes, le sable chromite, les sables de fonderie, etc. Nous donnons ci-après quelques exemples d'installations fonctionnant à l'échelle industrielle et qui ont été calculées par nos soins.

Installation « Produits chimiques et métallurgiques du Rupel » à Ruysbroek (Boom)

(Fig. 6)

Il s'agit d'un ensemble assurant le transport de 40 à 45 t/h de phosphate broyé depuis deux cyclones alimentés par broyeurs jusqu'à un silo de stockage de 13 m de hauteur et de 10 m de diamètre (environ 1000 m^3 de capacité). Le phosphate distribué par deux sas cellulaires alimente deux courtes aéroglissières de distribution, débitant elles-mêmes sur une batterie de trois air-slides disposés en cascade. La pente moyenne des chenaux est de 10 %; la largeur utile est de 25 cm et la hauteur de 20 cm. La hauteur moyenne de couche en régime varie entre 2 et 3,5 cm. La vitesse d'écoulement est de l'ordre de 2,50 m/s. Le diffuseur est constitué par un tissu en fibres synthétiques, 100 % polypropylène. La longueur cumulée du parcours en aéroglissières est de 38 m. L'ensemble est fluidisé par un ventilateur débitant 1100 m^3/h à 500 mm CE. La consommation énergétique atteint 0.0018 kWh par tonne transportée et par mètre de trajet.

Le dernier tronçon d'air-slide débite dans la cuve d'alimentation d'un air-lift disposé au niveau du sol (surface 0,14 m^2). La cuve de mise en charge a une surface de 0,65 m^2 et toutes deux sont fluidisées par un diffuseur métallique (tôle perforée recouverte de grille Rima). L'air-lift relève les produits à 14,50 m de hauteur par une section annulaire constituée d'un tube de 0,4 m de diamètre muni d'une carotte de 0,25 m de diamètre. La section de passage est donc de 7,65 dm^2.

L'air-lift est alimenté par un ventilateur débitant 2300 m^3 par heure avec une pression de 1300 mm CE. La pression utile (cuve) atteint 530 mm CE. La vitesse de l'air dans le tube est de 8 m/s. Le rendement du tube élévateur atteint

het verloop van het energierendement van de stijgbuis nog steeds in functie van het luchtdebiet. Het rendement van de stijgbuis is de verhouding van de potentiële gravimetrische energie die aan het produkt wordt gegeven tot de pneumatische energie opgenomen door de stijgbuis. De zone der hoogste rendementen ligt links van de zone der hoogste debieten en de beste luchtsnelheden schommelen meestal tussen 8 en 12 m/s.

Op die manier hebben wij de mogelijkheden tot vervoer in air-lift bestudeerd van poederkolen, zand, gemalen of ruw fosfaat, geroosterde blende, detergent poeder, chromietzand, gieterijzand, enz... Wij geven nu enkele voorbeelden van installaties die op industriële schaal werken en door onze zorgen werden berekend.

Installatie « Produits chimiques et métallurgiques du Rupel » te Ruysbroek (Boom)

(Fig. 6)

Het gaat om een installatie die 40 tot 45 t/u gemalen fosfaat vervoert vanaf twee door molens gevoede cyclonen tot aan een opslagbunker met een hoogte van 13 m en een doormeter van 10 m (inhoud ongeveer 1000 m^3). Het fosfaat wordt verdeeld door middel van twee cirkelvormige sassen en voedt twee korte verdeelluchtschuiven, die zelf uitgeven in een reeks van drie in serie opgestelde air-slides. De kanalen hebben een gemiddelde helling van 10 %; de nuttige breedte is 25 cm en de hoogte 20 cm. In regime varieert de laagdikte gemiddeld van 2 tot 3,5 cm. De stromingssnelheid is zowat 2,5 m/s. De diffuseur bestaat uit een weefsel in syntetische vezels, 100 % propyleen. Samen hebben de luchtschuiven een lengte van 38 m. Het geheel wordt gefluïdiseerd door een ventilator die 1100 m^3/u geeft bij een druk van 500 mm waterkolom. Het energieverbruik bedraagt 0,0018 kWh per vervoerde tonmeter.

Het laatste stuk air-slide geeft uit in de voedingskuip van een air-lift op het gelijkvloers (oppervlakte 0,14 m^2). De drukkuip heeft een oppervlakte van 0,65 m^2 en beide worden gefluïdiseerd met behulp van een metalen diffuseur (geperforeerde plaat bedekt met een rooster Rima). De air-lift hijst de produkten tot op een hoogte van 14,50 m langs een ringvormige sectie gevormd door een buis met een doormeter van 0,4 m en een kern met een doormeter van 0,25 m. De doorgang heeft dus een sectie van 7,65 dm^2.

De air-lift wordt gevoed met een ventilator met een debiet van 2300 m^3 per uur en een druk van 1300 mm waterkolom. De nuttige druk (in de kuip) beloopt 530 mm waterkolom. De luchtsnel-

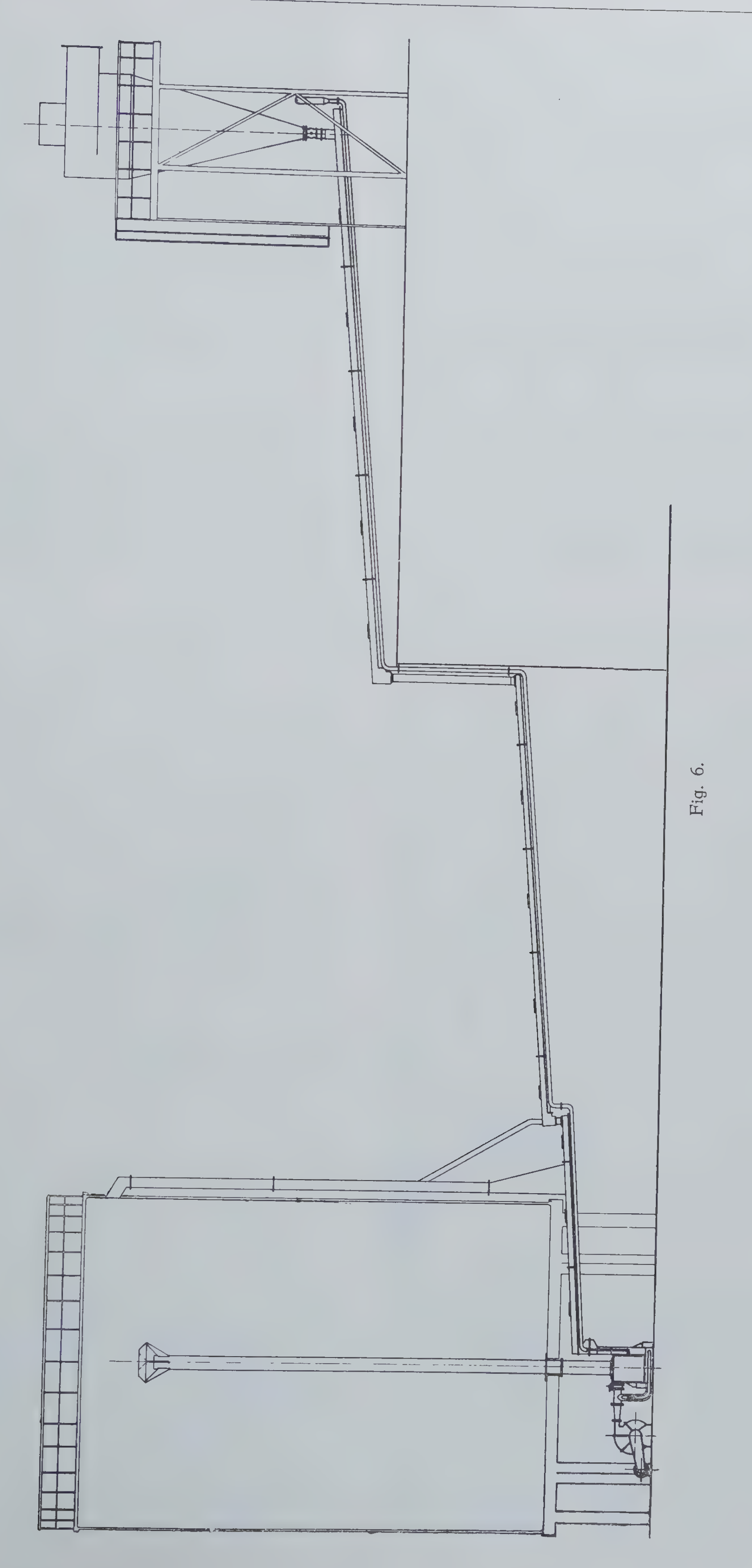


Fig. 6.

ici 50 %. La consommation globale d'énergie dans l'air-lift est de 0,5 kWh/t. Ceci signifie qu'en utilisant un ventilateur et un moteur parfaitement dimensionné, on pourrait arriver à un rendement global de 15 % environ (contre 8 % actuellement).

La tête du silo est pourvue d'un filtre à manche qui épure les débits de l'air-lift et des air-slides avant de les rejeter à l'atmosphère.

heid in de buis bedraagt 8 m/s. Het rendement van de stijgbuis bedraagt hier 50 %. Het globale energieverbruik in de air-lift bedraagt 0,5 kWh/t. Dit betekent dat men met een volmaakt aangepaste ventilator en motor zou kunnen komen tot een globaal rendement van 15 % (tegen 8 % nu).

De kop van de bunker is voorzien van een mouwfilter waarin het luchtdebiet van de air-lift en de air-slides gezuiverd wordt vooraleer het in de atmosfeer wordt geloosd.

Installation Debruyn à Schoten (Fig. 7)

Il s'agit d'assurer le relevage de 20 à 25 t/h de sable chromite à une hauteur de 19 m en vue de son stockage en silo. Le sable chromite est un produit très dense; son poids spécifique est de 4,47 et sa densité apparente atteint 2,5 t/m^3. Sa granulométrie s'insère pratiquement entre 200 microns et 500 microns (98 %).

Installatie Debruyn te Schoten (Fig. 7)

Hier moeten 20 tot 25 ton chromietzand per uur gehesen worden over een hoogte van 19 m en gestockeerd worden in een silo. Het chromietzand is een zeer dicht produkt; zijn soortelijk gewicht is 4,47 en zijn schijnbaar soortelijk gewicht 2,5 t/m^3. De korrelgrootte ligt praktisch tussen 200 mikron en 500 mikron (98 %).

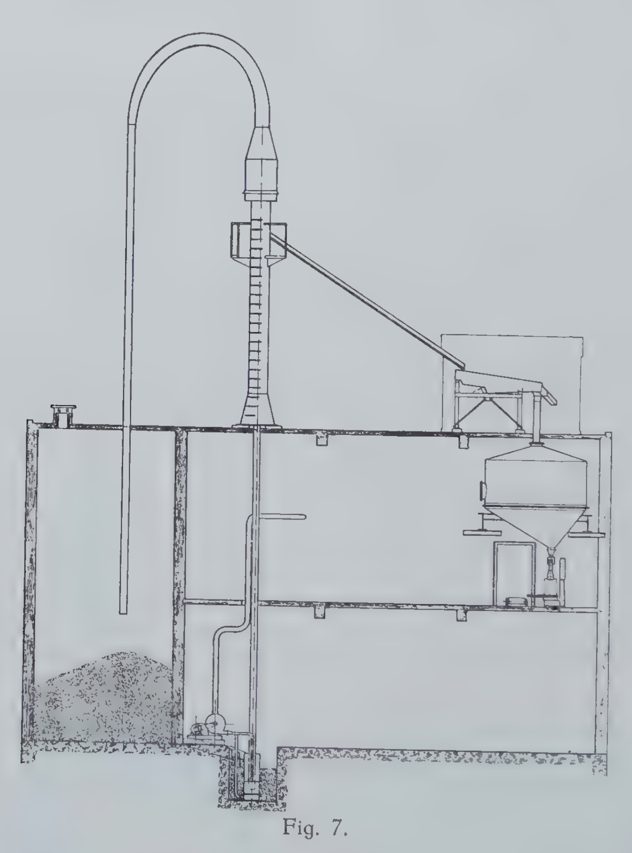


Fig. 7.

Le produit préalablement séché et broyé arrive par un chenal fixe incliné à 18° dans la cuve d'alimentation de l'air-lift à une température voisine de 120°. Cette cuve d'alimentation a une surface de 0,1 m^2 et la cuve de mise en charge, une surface de 0,25 m^2. Le diffuseur utilisé pour la fluidisation de la charge est un tissu en fibres synthétiques (100 % polyamide). Le tube d'air-lift a un diamètre de 0,215 m. A son extrémité supérieure, le sable chromite chute dans un che-

Het reeds gedroogde en gemalen produkt komt langs een vast kanaal met een helling van 18° in de voedingskuip van een air-lift, op een temperatuur van bij de 120°. Deze voedingskuip heeft een oppervlakte van 0,1 m^2 en de drukkuip een oppervlakte van 0,25 m^2. Voor het fluïdiseren van de lading gebruikt men een diffuseur in synthetische vezels (100 % polyamide). De buis van de air-lift heeft een doormeter van 0,215 m. Aan de bovenste monding valt het chromietzand in een vast

nal fixe, d'une pente voisine de 30° qui alimente deux silos utilisés pour l'ensachage. Le débit d'air du ventilateur est de 1650 m^3/h sous une pression de 2300 mm CE. La pression de cuve est de 1300 mm CE. La vitesse de l'air dans le tube atteint 14 m/s. La puissance globale consommée par l'installation (moteur du ventilateur) s'élève à 20 kW, soit 0,8 kWh/t relevée. Le rendement énergétique du tube élévateur atteint 19 %. A noter les différences de consommation énergétique et de rendement avec l'installation du Rupel. Elles s'expliquent par le fait qu'il s'agit ici d'un produit à granulométrie et à densité plus importantes et que, d'autre part, le tube de l'air-lift n'est pas muni d'une carotte.

A signaler, par ailleurs, que dans les deux cas mentionnés, les points de fonctionnement réels, c'est-à-dire les rapports entre les débits d'air et les débits de solide, compte tenu des pressions utiles, sont très proches des courbes caractéristiques établies sur des bases théoriques.

Installation Linalux aux Awirs
(Fig. 8)

Cette installation assure la manutention du charbon pulvérisé dans une centrale électrique. Il s'agit donc d'un produit très fin (90 % plus petit que 80 microns) qui se fluidise à très faible vitesse (environ 1 cm/s), mais qui est sujet à channelling. Ce channelling s'est d'ailleurs principalement manifesté dans les air-slides dont le diffuseur était à l'origine raidi par deux treillis à larges mailles disposés de part et d'autre de la toile. Le treillis supérieur provoquait des phénomènes de channelling et a dû être supprimé.

kanaal met een helling van zowat 30° dat twee silo's vult van waaruit het produkt in zakken gedaan wordt. De ventilator heeft een luchtdebiet van 1650 m^3/u en een druk van 2300 mm waterkolom. In de kuip heerst een druk van 1300 mm waterkolom. De luchtsnelheid in de buis beloopt 14 m/s. Het totale vermogen van de installatie (motor van de ventilator) bedraagt 20 kW, hetzij 0,8 kWh/gehesen ton. Het energetisch rendement van de stijgbuis bereikt 19 %. Men bemerkt het verschil in energieverbruik en rendement tussen deze installatie en die van de Rupel. De verklaring hiervan ligt in het feit dat men hier te doen heeft met een dik en zwaar produkt en dat de stijgbuis anderzijds geen kern heeft.

Overigens signaleren wij dat de werkelijke werkingspunten, dit wil zeggen de verhoudingen tussen het luchtdebiet en het debiet in vaste stof, rekening gehouden met de nuttige druk, in beide voornoemde gevallen zeer dicht bij de op theoretische basis opgemaakte karakteristieke krommen gelegen zijn.

Installatie Linalux te Awirs
(Fig. 8)

Deze installatie verzorgt het vervoer van poederkolen in een elektrische centrale. Het gaat dus om een zeer fijn produkt (90 % kleiner dan 80 mikron) dat gefluïdiseerd wordt bij zeer kleine snelheid (zowat 1 m/s), maar gevoelig is aan channelling. Deze channelling komt overigens vooral voor in de air-slides waarvan de diffuseur aanvankelijk versterkt was met twee draadnetten met brede mazen opgesteld aan weerszijden van het doek. Het bovenste draadnet veroorzaakte channelling-fenomenen en moest weggenomen worden.

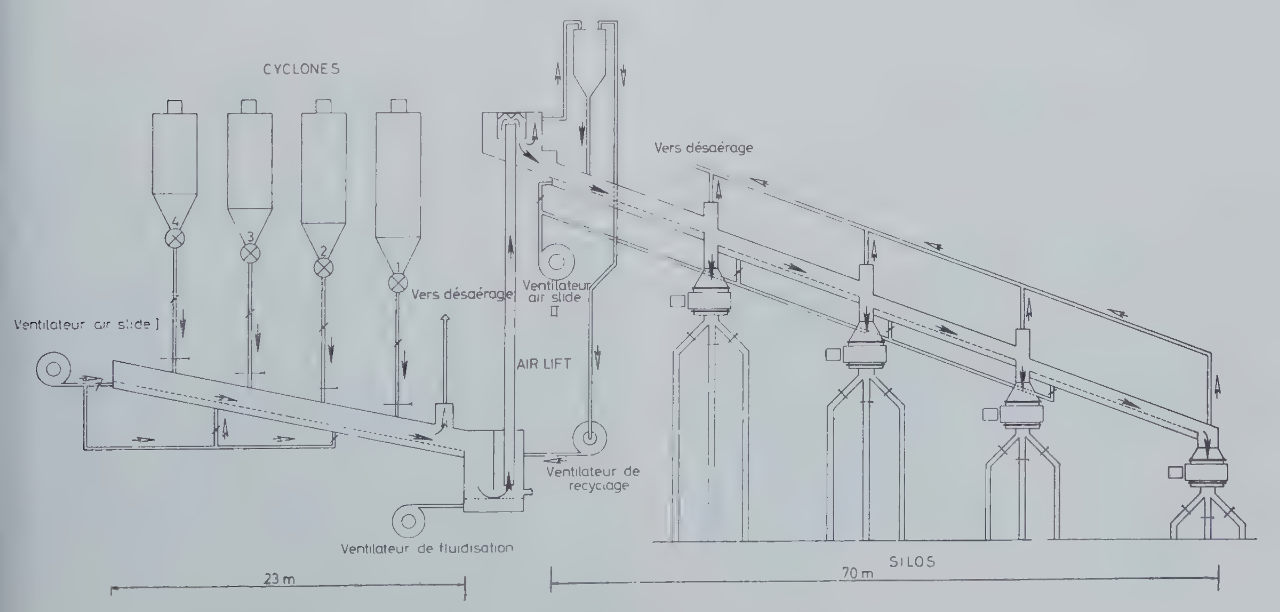


Fig. 8.

4 cyclônes alimentent un air-slide de 23 m de longueur par l'intermédiaire de sas cellulaires. Le charbon pulvérisé est à une température voisine de 90°. Le débit moyen est de 60 t/h. Cet air-slide incliné à 5% débite dans la cuve d'alimentation d'un air-lift de relevage. Ses principales caractéristiques sont :

— hauteur de relevage : 11 m;
— tube de relevage : section annulaire 500 mm/260 mm;
— ventilateur de recyclage : 5500 m^3/h à 800 mm CE;
— ventilateur de fluidisation : 400 m^3/h à 1100 mm CE.

Du fait de la très grande finesse du produit, nous avons été amenés à recycler l'air servant au relevage du charbon pulvérisé. En tête de l'air-lift, le débit gazeux transite par un cyclone où il subit une certaine épuration, puis est repris à l'aspiration du ventilateur de recyclage.

La fluidisation des deux cuves est assurée par un ventilateur séparé aspirant un air propre.

En tête d'air-lift le pulvérisé et l'excès d'air sont repris par un second air-slide d'une longueur totale de 70 m, incliné à 10 % environ. Cette aéroglissière débite à volonté dans 4 trémies d'accumulation prévues pour l'alimentation des chaudières.

Cette installation en service depuis octobre 1969 fonctionne en moyenne 16 h/jour ouvrable. Sur une période d'un an, elle a assuré la manutention de 95.000 t de charbon pulvérisé. Nous comptons effectuer prochainement des mesures de consommation spécifique d'air dans cette installation, mais d'ores et déjà on peut affirmer qu'elle a été très largement dimensionnée pour ce qui a trait aux aéroglissières.

Air-lift aspirant
(fig. 9)

Cet engin constitue un développement de l'appareil dont il vient d'être question. Il s'agit en fait d'un élévateur télescopique destiné aux produits granuleux ou pulvérulents. Il existe déjà sur le marché des appareillages pneumatiques fonctionnant en dépression. La suceuse à grains en est un exemple. Ce qui différencie notre air-lift aspirant de ces appareillages conventionnels, c'est que le circuit en dépression parcouru par le mélange gaz-solides est rectiligne et vertical. Les pertes de charge sont ainsi réduites; le débit et la vitesse d'air sont moindres, autant de facteurs qui entraînent des diminutions d'usure et d'énergie consommée.

4 cyclonen voeden een air-slide met een lengte van 23 m en dit langs cellensassen. De poederkolen hebben een temperatuur van bij de 90°. Het gemiddeld debiet bedraagt 60 t/u. Deze air-slide, die een helling heeft van 5 %, geeft uit in de voedingskuip van een air-lift voor hijsbewerking. De bijzonderste kenmerken ervan zijn :

— hijshoogte : 11 m;
— stijgbuis : ringvormige sectie 500 mm/160 mm;
— kringloopventilator: 5500 m^3/u, 800 mm waterkolom;
— fluïdiseerventilator : 400 m^3/u, 1100 mm waterkolom.

Wegens de zeer grote fijnheid van het produkt zijn wij verplicht geweest de lucht voortkomend van de vervoerde poederkolen te hergebruiken. Aan de kop van de air-lift gaat het gasdebiet door een cycloon waar een zekere zuivering optreedt, en dan naar de kringloopventilator.

Voor het fluïdiseren van beide kuipen is er een afzonderlijke ventilator die zuivere lucht aanzuigt.

Aan de kop van de air-lift worden de poederkolen en de overtollige lucht opgevangen door een tweede air-slide met een totale lengte van 70 m, en met een helling van ongeveer 10 %. Deze air-slide stort haar produkten naar keuze in vier opslagbunkers van waaruit de stoomketels worden gevoed.

Deze installatie is in bedrijf sedert oktober 1969 en werkt gemiddeld 16 u/dag. In de loop van een jaar heeft ze 95.000 t poederkolen vervoerd. Wij zouden binnenkort op deze installatie metingen willen verrichten betreffende het specifiek luchtverbruik, maar kunnen nu reeds zeggen dat ze zeer breed bemeten is wat de luchtschuiven betreft.

Zuigende air-lift
(Fig. 9)

Dit toestel is een verdere ontwikkeling van dat waarover we gesproken hebben. Het gaat in werkelijkheid om een telescopische elevator voor korrelvormige of poedervormige produkten. Er bestaan op de markt reeds pneumatische toestellen die in onderdruk werken. De graanzuiger is er een voorbeeld van. Wat onze zuigende air-lift van deze gebruikelijke apparaten onderscheidt is het feit dat de omloop in onderdruk die door het gas-vaste-stofmengsel wordt doorlopen, rechtlijnig en vertikaal is. Op die manier worden de ladingsverliezen kleiner; debiet en luchtsnelheid zijn kleiner, allemaal factoren die aanleiding geven tot een vermindering van slijtage en energieverbruik.

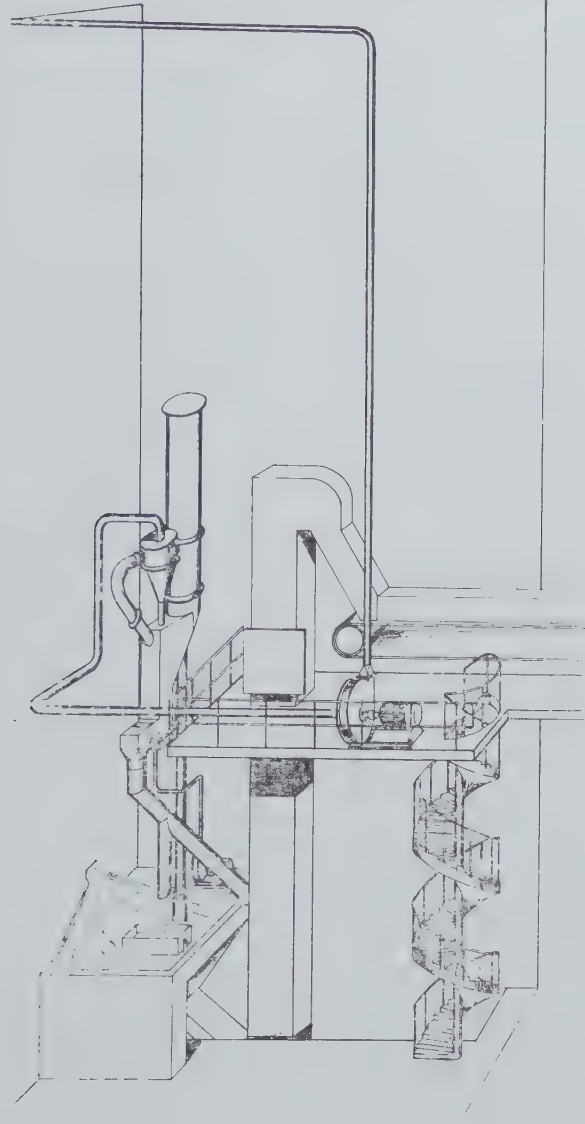


Fig. 9.

Ce type d'engin offre des possibilités d'application immédiates et intéressantes, à savoir la vidange des bateaux ou allèges (phosphatiers, bateaux à grains ou à granulés synthétiques), vidange qui est effectuée actuellement de façon discontinue par grappins.

Pour nos essais, nous utilisons:

- un tube de relevage d'un diamètre de 150 mm, de 7,20 m de hauteur;
- une jupe concentrique au tube (diamètre 225 mm) dont la partie inférieure conique constitue la tête d'aspiration proprement dite qui assure une pseudo-fluidisation du produit à relever;
- un cyclone de dépoussiérage;
- un ventilateur de 1300 m³/h à 1500 mm CE.

Les différents essais menés jusqu'à présent dans

Dit type van apparaat biedt onmiddellijk interressante toepassingsmogelijkheden, namelijk het ledigen van boten of lichters (fosfaatboten, graanboten of boten met synthetische korrels), boten die nu discontinu gelost worden met grijpers.

Voor onze proeven gebruiken wij :

- een stijgbuis met een doormeter van 150 mm en een hoogte van 7,20 m;
- rondom deze buis een concentrische rok (doormeter 225 mm) waarvan het konische ondereinde de eigenlijke zuigkop is die het op te halen produkt in een toestand van pseudo-fluïdisatie brengt;
- een ontstoffingscycloon;
- een ventilator van 1300 m³/u en 1500 mm waterkolom.

De verschillende proeven die tot nu toe werden

un silo à phosphate brut de Kwaad-Mechelen montrent que :

1°) Il existe un écartement optimal entre le tube de relevage et la jupe concentrique et donc une vitesse optimale d'air qui assure la pseudo-fluidisation du produit. Cet écartement se situe, pour le cas envisagé, entre 5 et 8 mm (section de passage de 30 à 40 cm^2).

2°) La conicité optimale de la tête de relevage est de 30°.

3°) Le rapport optimal des débits pondéraux solides/air se situe aux alentours de 20.

4°) La meilleure performance obtenue est un relevage de 18 t/h avec une consommation spécifique totale de 0,5 kWh/t.

5°) Les performances maximales par rapport à un air-lift soufflant de mêmes caractéristiques semblent réduites de 10 à 20 %. Ceci est vraisemblablement attribuable à un défaut de fluidisation du produit à relever. Par ailleurs, si l'on dépasse le débit d'air correspondant au tonnage maximum relevé, les performances de l'air-lift aspirant régressent beaucoup plus rapidement que dans le cas de l'air-lift soufflant.

uitgevoerd in een silo voor ruw fosfaat te Kwaadmechelen tonen het volgende aan :

1°) Er bestaat een optimale afstand tussen de stijgbuis en de concentrische rok en dus ook een optimale snelheid voor de lucht die de pseudo-fluïdisering van het produkt veroorzaakt. Voor dit geval ligt deze afstand tussen 5 en 8 mm (doorgang 30 tot 40 cm^2).

2°) De optimale koniciteit van de hijskop is 30°.

3°) De optimale gewichtsverhouding vaste stof/lucht ligt rond de 20.

4°) De beste prestatie tot nu toe is het hijsen van 18 t/u met een totaal specifiek verbruik van 0,5 kWh/t.

5°) Ten opzichte van een blazende air-lift met dezelfde karakteristieken schijnen de hoogste prestaties 10 tot 20 % lager te liggen. Dit ligt waarschijnlijk aan een gebrekkig fluïdiseren van het te hijsen produkt. Overschrijdt men het luchtdebiet dat met het maximum aan hijsvermogen overeenkomt, dan verminderen de prestaties van de zuigende air-lift overigens veel sneller dan die van de blazende

Cinétique de la décomposition du calcaire

De cinetica van de ontbinding van kalksteen

W. FASSOTTE * et M. SAUSSEZ **

RESUME

On établit des équations expérimentales qui donnent la durée de décarbonatation en fonction du volume de l'échantillon, pour des températures de four comprises entre 850 et 1000°C. Les essais sont réalisés au moyen d'une thermobalance ADAMEL sur des échantillons de calcaire de formes définies.

Partant de l'expression des lois de la transmission de la chaleur par conductibilité et par rayonnement pour une sphère de calcaire placée dans un four porté à la température T_F, *on établit d'autre part une équation théorique donnant la durée de décarbonatation sous une atmosphère de gaz carbonique. Les coefficients d'émission et de conductibilité de la chaux qui figurent dans cette équation sont déterminés à partir des équations expérimentales obtenues à 1000°C.*

L'équation théorique précédente reste valable pour des températures de four inférieures à 950°C et l'on peut en déduire la température de dissociation T_D *du calcaire.*

On donne finalement une équation reliant les températures de dissociation et de surface du morceau à la pression de dissociation et à la pression du gaz carbonique du milieu ambiant.

Les lois empiriques établies dans ces conditions pour des pierres de formes géométriques régulières peuvent être appliquées aux pierres concassées moyennant l'introduction d'un « facteur de forme ».

SAMENVATTING

Er worden experimentele vergelijkingen opgesteld voor het bepalen van de duur van het decarbonateren in functie van het volume van het monster, voor oventemperaturen gaande van 850 tot 1000°C. De proeven worden uitgevoerd met behulp van een thermobalans ADAMEL op kalksteenmonsters van verschillende vorm.

Men gaat uit van het schrijven der wetten over warmtetransmissie door geleiding en door straling voor een bepaalde bol van kalksteen in een oven die een temperatuur heeft van T_F, *en zo stelt men anderzijds een theoretische vergelijking op voor de duur van het decarbonateren onder een koolzuuratmosfeer. De coëfficiënten voor emissie en conductibiliteit van kalk die in deze vergelijking voorkomen worden bepaald op grond van de experimentele vergelijkingen opgesteld op 1000°C.*

De voorgaande theoretische vergelijking blijft geldig voor oventemperaturen onder de 950°C en men kan er de ontbindingstemperatuur T_D *van de kalksteen uit afleiden.*

Tenslotte wordt de vergelijking gegeven die er bestaat tussen de dissociatietemperaturen en de oppervlakte van het stuk op de dissociatiedruk en op de druk van het koolzuurgas in de omgeving.

De empirische wetten die op die manier worden opgesteld voor stenen met regelmatige geometrische vormen kunnen toegepast worden op gebroken stenen mits men gebruik maakt van een « vormfactor ».

(*) Licencié en Sciences Chimiques. Chargé de Recherches Principal à l'INIEX.
(**) Ingénieur Technicien Chimiste attaché à l'INIEX.
« Bois du Val-Benoît », rue du Chéra - B-4000 Liège.

(*) Licenciaat in de scheikundige wetenschappen. Hoofdverantwoordelijke voor de Onderzoekingen.
(**) Scheikundig Technisch Ingenieur bij het NIEB.
« Bois du Val-Benoît », rue du Chéra - B-4000 Liège.

INHALTSANGABE

Die Verfasser haben experimentell Gleichungen für die Dauer der Abspaltung von CO_2 aus Kalziumkarbonat abhängig von dem Volumen der Proben bei Temperaturen zwischen 850 und 1000°C aufgestellt. Die Versuche wurden unter Verwendung einer Adamel-Thermowaage an Kalksteinproben von bestimmter Form durchgeführt.

Die Verfasser gehen von den Gesetzen der Wärmeübertragung durch Wärmeleitung und -strahlung aus einem Kalkstein aus, der in einem Ofen auf die Temperatur T_F gebracht wurde, und stellen eine theoretische Gleichung für die Dauer des Abspaltungsvorgangs in kohlensäurehaltiger Atmosphäre auf. Die in dieser Gleichung auftretenden Koeffizienten der Wärmeabgabe und Wärmeleitfähigkeit des Kalks wurden aus den bei Versuchstemperaturen von 1000°C gefundenen Gleichungen bestimmt.

Diese theoretische Gleichung ist auch für Ofentemperaturen unter 950°C gültig, und man kann aus ihr die Dissoziationstemperatur T_D des Kalksteins ableiten. Abschliessend wird eine Gleichung aufgestellt, in der die Beziehungen zwischen der Dissoziationstemperatur und der Oberflächentemperatur des Kalksteins einerseits und dem Dissoziationsdruck sowie dem CO_2-. Druck des umgebenden Mediums andererseits ihren Ausdruck finden. Unter Berücksichtigung eines « Formfaktors » lassen sich die für Körper van regelmässiger geometrischer Form ermittelten empirischen Gesetze auch auf gebrochenen Kalkstein übertragen.

SUMMARY

Experimental equations are established giving the duration of calcination in function of the volume of the sample, for oven temperatures of between 850 and 1000°C. The tests were carried out by means of an ADAMEL thermobalance on samples of limestone of given forms.

On the basis of the expression of the laws of the transmission of heat by conductibility and radiation for a spherical stone placed in an oven heated to the temperature T_F, a theoretical equation is established on the other hand giving the duration of calcination in pure CO_2 - atmosphere. The coefficients of emission and conductibility of the limestone in this equation are determined on the basis of experimental equations obtained at 1000°C.

The preceding theoretical equation remains valid for oven temperatures of less than 950° and from it may be deduced the dissociation temperature T_D of the limestone.

Finally an equation is given linking the temperature of dissociation and the surface temperature of the piece with the pressure of dissociation and with the partial pressure of CO_2 in the surrounding atmosphere.

The empirical laws established in these conditions for stones of regular geometric shapes may be applied to crushed stones provided a « shape factor » is introduced.

---

1. AVANT-PROPOS

Nos recherches sur la cinétique de la décomposition du calcaire ont débuté il y a quelques mois, suite à une suggestion présentée par M. François, membre du Conseil d'Administration d'INIEX.

Leur objectif initial était assez modeste : utiliser les possibilités offertes par notre appareillage de thermobalance pour étudier la durée de dissociation d'un certain nombre de petits morceaux de calcaire prélevés dans un même bloc et estimer l'influence de différents paramètres :

- — Température
- — Pression ambiante
- — Grosseur des morceaux
- — Nature du gaz de balayage.

Cependant, après quelques expériences, il nous est très vite apparu que ces résultats expérimentaux n'auraient de valeur que dans la mesure où l'on pourrait les intégrer dans une synthèse cohérente basée sur les lois fondamentales de la physico-chimie.

1. VOORWOORD

Onze onderzoekingen over de cinetica van de ontbinding van kalksteen begonnen enkele maanden geleden, als gevolg op een suggestie van dhr. François, lid van de Beheerraad van het NIEB.

Oorspronkelijk was het doel tamelijk bescheiden : gebruik maken van de mogelijkheden geboden door onze apparatuur met thermobalans om de ontbindingsduur te bestuderen van een bepaald aantal kleine stukjes kalksteen die uit eenzelfde blok worden gesneden, en de invloed schatten van verschillende parameters :

- — Temperatuur
- — Omgevingsdruk
- — Grootte van de stukken
- — Aard van het spoelgas.

Na enkele proefnemingen hebben wij echter vlug opgemerkt dat deze experimentele resultaten slechts waarde hadden in zoverre ze konden worden opgenomen in een samenhangend geheel gebaseerd op de fundamentele wetten van de fysico-chemie.

Dans ce bref exposé, nous tenterons de vous présenter quelques aspects de notre travail, étant bien entendu que l'ensemble des résultats fera ultérieurement l'objet d'une publication plus complète et plus méthodique.

In deze korte uiteenzetting zullen wij trachten enkele aspecten van ons werk voor U te verklaren; het geheel van de resultaten zal wel te verstaan later in een vollediger en methodischer publikatie worden meegedeeld.

2. L'EQUILIBRE : $CaCO_3 = CaO + CO_2$

La dissociation du carbonate calcique est une réaction fortement endothermique qui donne lieu à un équilibre monovariant.

Comme on peut le voir sur la figure 1, la pression de dissociation s'élève très rapidement avec l'augmentation de la température.

Il est intéressant de noter que, dans l'intervalle de température de 700 à 1000°C, ces valeurs expérimentales de la fonction $P = f(T)$ que l'on trouve dans les manuels coïncident avec une précision remarquable avec celles que l'on peut déduire de la formule de Clapeyron-Clausius en attribuant à la chaleur de réaction la valeur constante $r = 395$ *kcal par kg de* $CaCO_3$ *décomposé.*

2. HET EVENWICHT : $CaCO_3 = CaO + CO_2$

De ontbinding van het calciumcarbonaat is een sterk endotherme reactie die aanleiding geeft tot een monovariant evenwicht.

Zoals men ziet op figuur 1 stijgt de ontbindingsdruk zeer snel met de verhoging van de temperatuur.

Het is interessant te noteren dat, in het temperatuurbereik van 700 tot 1000°C, de experimentele waarden van de functie $P = f(T)$ die men in handboeken vindt opvallend nauwkeurig samenvallen met hetgeen kan afgeleid worden uit de formule van Clapeyron-Clausius wanneer men aan de reactiewarmte de constante waarde $r = 395$ *kcal per kg ontbonden* $CaCO_3$ geeft.

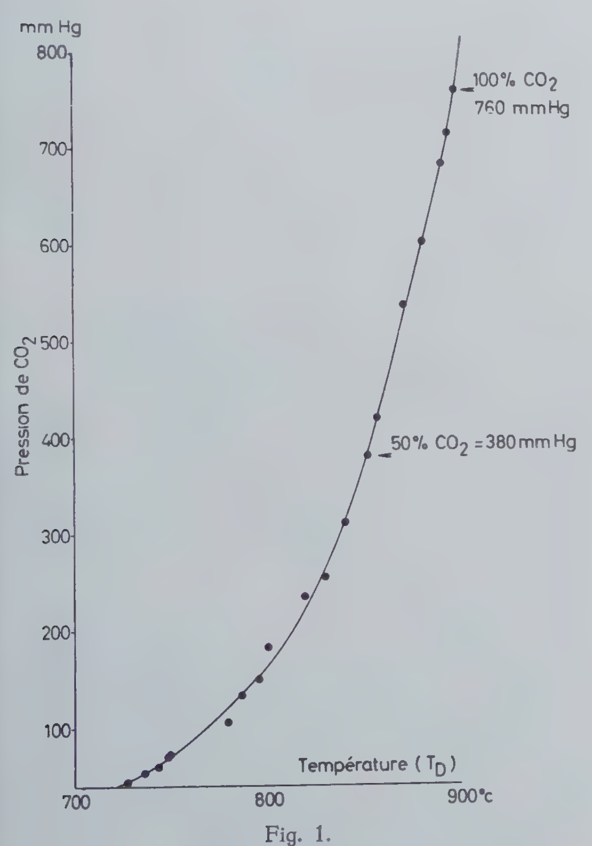


Fig. 1.

Pression de dissociation du $CaCO_3$ en fonction de la température.
Ontbindingsdruk van $CaCO_3$ in functie van de temperatuur. (Handbook of chemistry and physics. 46th edition).

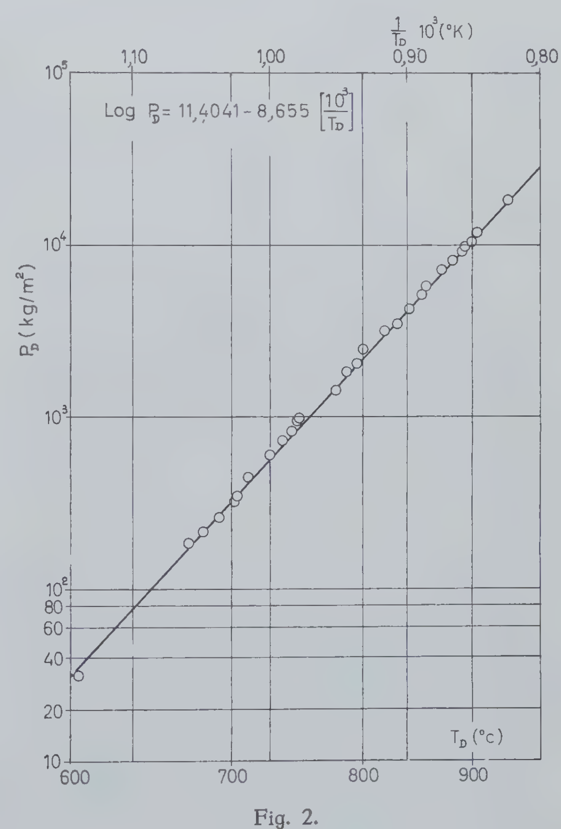


Fig. 2.

Loi de corrélation entre la pression et la température de dissociation du carbonate calcique.
Wet van het verband tussen de ontbindingsdruk en -temperatuur van het calciumcarbonaat.

Rappelons que cette formule de Clapeyron-Clausius, qui lie la pression, la température et la chaleur de dissociation, peut s'écrire :

$$d \frac{\ln P_D}{dT} = \frac{r}{RT_D^2}$$

Deze formule van Clapeyron-Clausius, die het verband legt tussen de druk, de temperatuur en de warmte van de ontbinding, kan als volgt geschreven worden :

$$d \frac{\ln P_D}{dT} = \frac{r}{RT_D^2}$$

ou encore sous la forme intégrée :

$$\log P_D = - \frac{r}{4,57\, T_D} + C$$

Si l'on reprend les valeurs déjà mentionnées à la figure 1 et si l'on porte en ordonnée les valeurs de log P et en abscisse les inverses de la température absolue, on obtient une droite dont l'équation s'écrit :

$$\log P_D = 11,40 - 8,655 \left(\frac{10^3}{T_D}\right) \qquad (1)$$

On peut se faire une idée intuitive du phénomène de dissociation du calcaire en le comparant au phénomène du séchage d'un corps poreux imbibé d'eau. En effet, l'évaporation de l'eau est également un processus très endothermique qui donne lieu au même type d'équilibre monovariant.

Les deux phénomènes sont susceptibles de se dérouler suivant deux modes.

Un mode rapide du type « ébullition » qui se produit lorsque la tension du CO_2 (ou la tension de vapeur) atteint la pression ambiante.

Un mode plus lent du type « évaporation » qui s'établit à une température inférieure à la température d'« ébullition », et qui est subordonné à une réduction de la pression partielle du CO_2 (ou de la vapeur d'eau) du fait de sa dilution par un autre gaz.

3. CINETIQUE DE LA DECOMPOSITION D'UN MORCEAU DE CALCAIRE PLACE A L'INTERIEUR D'UN FOUR ELECTRIQUE TUBULAIRE SOUS ATMOSPHERE DE CO_2

Notre étude mathématique de la dissociation d'une sphère de calcaire posée au centre d'un four vertical tubulaire (fig. 3) est basée sur plusieurs hypothèses simplificatrices :

1. Le calcaire est supposé isotrope et homogène.
2. La décomposition est supposée se passer suivant une surface sphérique sans épaisseur qui à chaque instant sépare une sphère de $CaCO_3$ non décomposé d'une zone périphérique de CaO.
3. Toute la chaleur utilisée pour la décomposition (chaleur sensible fournie à la chaux + chaleur de réaction) est supposée consommée dans la surface sphérique en cours de réaction.
4. La variation de volume du morceau du fait de la décomposition est supposée négligeable.
5. Tout le transfert de chaleur entre la paroi du four et la surface externe du morceau est supposé réalisé par rayonnement et on admet, au surplus, que dans la zone de température envisagée la loi de Stefan-Boltzmann :

$$Q = \pi D^2 . c \left[\left(\frac{T_F}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_S}{100}\right)^4\right]$$

of onder de geïntegreerde vorm :

$$\log P_D = - \frac{r}{4,57\, T_D} + C$$

Herneemt men de waarden die reeds gegeven werden op figuur 1 en zet men in ordinaat de waarden uit van log P en in abscis het omgekeerde van de absolute temperatuur, dan bekomt men een rechte met de volgende vergelijking :

$$\log P_D = 11,40 - 8,655 \left(\frac{10^3}{T_D}\right) \qquad (1)$$

Men kan zich op het gevoel een idee vormen van het ontbindingsfenomeen bij kalksteen door het te vergelijken met het droogfenomeen van een poreus lichaam dat met water doordrenkt is. Het verdampen van water is immers eveneens een zeer endotherm proces dat aanleiding geeft tot hetzelfde type van monovariant evenwicht.

Beide fenomenen kunnen verlopen op twee manieren.

Een *snelle manier* van het « kooktype » hetgeen voorkomt wanneer de dampspanning van het CO_2 (of van de waterdamp) de omgevingsdruk bereikt.

Een *tragere manier* van het « verdampingstype » die optreedt op een lagere dan de « kooktemperatuur », en gepaard gaat met een vermindering van de partiële druk van het CO_2 (of van de waterdamp) wegens verdunning door een ander gas.

3. CINETICA VAN DE ONTBINDING VAN EEN STUK KALKSTEEN IN HET INWENDIGE VAN EEN BUISVORMIGE ELEKTRISCHE OVEN ONDER CO_2-ATMOSFEER

Onze matematische studie van de ontbinding van een bol in kalksteen, in het middelpunt van een vertikale buisvormige oven (figuur 3) is gebaseerd op verschillende vereenvoudigende hypothesen :

1. Men veronderstelt dat de kalksteen isotroop en homogeen is.
2. Men veronderstelt dat de ontbinding verloopt volgens een bolvormig oppervlak zonder dikte dat op elk ogenblik de scheiding vormt tussen een bol niet ontbonden $CaCO_3$ en een omringende zone CaO.
3. Men veronderstelt dat al de warmte die voor de ontbinding gebruikt wordt (voelbare warmte geleverd door de kalk en reactiewarmte) tijdens de reactie wordt opgebruikt op het bolvormig oppervlak.
4. Men veronderstelt de verandering in volume als gevolg op de ontbinding te verwaarlozen.
5. Elke overdracht van warmte tussen de ovenwand en de buitenwand van het stuk kalksteen gebeurt bij veronderstelling door straling en men neemt bovendien aan dat de wet van Stefan-Boltzmann :

$$Q = \pi D^2 . c \left[\left(\frac{T_F}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_S}{100}\right)^4\right]$$

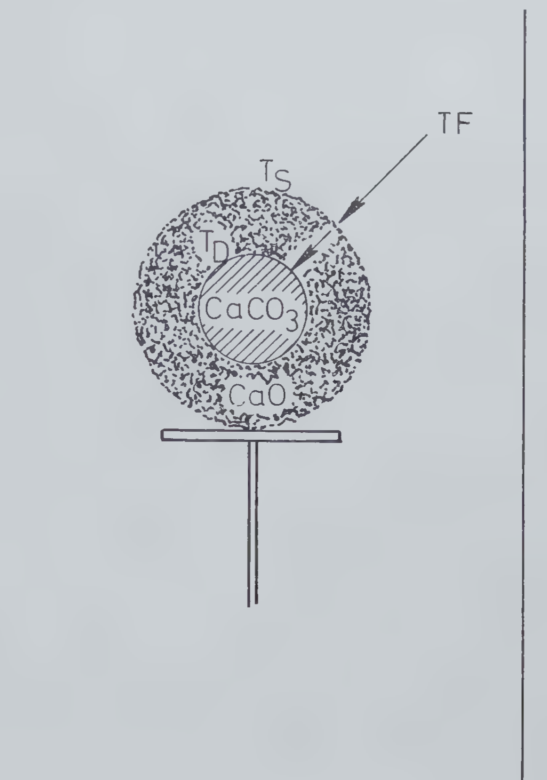


Fig. 3.

Schéma de la disposition d'une sphère calcaire dans le four de la thermobalance.

Schema voor de opstelling van een bol in kalksteen in de oven van de thermobalans.

peut être remplacée par la formule approximative :

$$Q = \pi D^2 . c \; [4 \; (\frac{T_F - T_S}{100}) . (\frac{T_F}{100})^3]$$

Moyennant ces différentes approximations, la durée de décarbonatation d'une sphère de calcaire de diamètre D a pour expression :

$$t_t = \frac{\rho \, \alpha}{24 \, (T_F - T_D)} \; [\frac{100}{c} \; (\frac{100}{T_F})^3 . D + \frac{1}{k} . D^2] \quad (2)$$

dans laquelle :

- t_t : représente le temps global de décomposition exprimé en heure
- D : le diamètre de la sphère de calcaire en mètre
- T_F : la température du four en degré Kelvin
- T_D : la température de décomposition du calcaire en degré Kelvin
- ρ : le poids spécifique du carbonate calcique en kg/m³
- α : la chaleur à fournir pour échauffer et dissocier 1 kg de calcaire en kcal/kg
- c : le coefficient d'émission de la surface du morceau de calcaire en kcal/h . m² (100°K)⁴ (= 4,93 pour le corps noir)
- k : le coefficient de conductibilité thermique de la chaux en kcal/h . m . °K.

Si l'on tient compte que le diamètre d'une sphère est lié à la racine cubique de son volume par la rela-

in het beschouwde temperatuurbereik kan vervangen worden door volgende benaderende formule :

$$Q = \pi D^2 . c \; [4 \; (\frac{T_F - T_S}{100}) . (\frac{T_F}{100})^3]$$

Mits rekening gehouden wordt met deze benaderingen kan de ontbindingsduur van een bol in kalksteen met een doormeter D als volgt worden uitgedrukt :

$$t_t = \frac{\rho \, \alpha}{24 \, (T_F - T_D)} \; [\frac{100}{c} \; (\frac{100}{T_F}) \; . D + \frac{1}{k} . D^2] \quad (2)$$

waarin :

- t_t : de totale ontbindingsduur uitgedrukt in uren
- D : de doormeter van de kalksteenbol in meter
- T_F : de temperatuur van de oven in graden Kelvin
- T_D : de ontbindingstemperatuur van kalksteen in graden Kelvin
- ρ : het soortelijk gewicht van calciumcarbonaat in kg/m³
- α : de warmte die moet aangevoerd worden voor het verwarmen en ontbinden van 1 kg kalksteen in kcal/kg
- c : de emissiecoëfficiënt van het oppervlakte van het stuk kalksteen (= 4,93 voor een zwart lichaam) in kcal/h . m² (100 °K)⁴
- k : de thermische geleidingscoëfficiënt van kalk in kcal/h . m . °K.

Vermits de doormeter van een bol afhangt van de derdemachtswortel van zijn volume volgens de betrek-

tion : D = 1,24 $\sqrt[3]{V}$, la relation (2) peut encore s'écrire :

$$t_f = \frac{\rho \alpha}{24 (T_F - T_D)}$$

$$\times \left[\frac{100}{c} \left(\frac{100}{T_F}\right)^3 . 1,24 \sqrt[3]{V} + \frac{1}{k} (1,24 \sqrt[3]{V})^2\right] \qquad \text{(2 bis)}$$

Dans cette relation, le premier terme représente le temps de décomposition que l'on obtiendrait s'il n'y avait pas de résistance au flux de chaleur à l'intérieur des morceaux ($k \rightarrow \infty$).

Le second terme donnerait le temps de décomposition en l'absence de résistance à l'écoulement du flux de chaleur entre le four et la surface extérieure des morceaux de calcaire ($c \rightarrow \infty$).

Ceci permet d'introduire la formule qui lie le temps de décomposition à la température moyenne de la surface du morceau (T_S) :

$$t_f = \frac{\rho \alpha}{24 (T_S - T_D)} . \frac{1}{k} (1,24 \sqrt[3]{V})^2 \qquad (3)$$

qui coïncide avec les formules citées dans les études de Wuhrer [1].

* * *

La figure 4 représente les temps de décarbonatation obtenus à 950°C et 1000°C pour des échantillons cubiques sous balayage de CO_2.

La formule proposée peut se mettre sous la forme simplifiée :

$$t_f = A \sqrt[3]{V} + B (\sqrt[3]{V})^2$$

ou encore :

$$t_f / \sqrt[3]{V} = A + B \sqrt[3]{V}$$

La figure 5 montre qu'en retenant comme coordonnées $\sqrt[3]{V}$ et le rapport $tf / \sqrt[3]{V}$, les points expérimentaux se rangent suivant des relations linéaires, desquelles on déduit les valeurs empiriques de A et de B.

Pour des échantillons sphériques avec CO_2 comme gaz de balayage, nous avons obtenu l'équation empirique :

$$1000°C : \quad t_f = 0,28 . 10^2 \sqrt[3]{V} + 0,22 . 10^4 (\sqrt[3]{V})^2 \qquad (4)$$

Dès lors, nous pouvons déterminer les valeurs des coefficients d'émission « c » et de conductibilité « k » en identifiant la relation empirique (4) avec la formule théorique (2 bis).

Nous obtenons pour coefficient de conductibilité thermique de la chaux la valeur :

$$k = 0,53 \; kcal/h . m . °C$$

king : D = 1,24 $\sqrt[3]{V}$, kan de formule (2) ook geschreven worden :

$$t_f = \frac{\rho \alpha}{24 (T_F - T_D)}$$

$$\times \left[\frac{100}{c} \left(\frac{100}{T_F}\right)^3 . 1,24 \sqrt[3]{V} + \frac{1}{k} (1,24 \sqrt[3]{V})^2\right] \qquad \text{(2 bis)}$$

Hierin stelt de eerste term de ontbindingsduur voor die men zou bekomen indien er in het inwendige van de brokstukken geen weerstand was tegen de warmtestroming ($k \rightarrow \infty$).

De tweede term zou de ontbindingsduur geven indien er geen weerstand was voor de warmtestroming tussen de oven en de uitwendige oppervlakte van de stukken kalksteen ($c \rightarrow \infty$).

Zo komt men tot de formule die het verband legt tussen de ontbindingsduur en de gemiddelde temperatuur van het oppervlak van het stuk (T_s) :

$$t_f = \frac{\rho \alpha}{24 (T_S - T_D)} . \frac{1}{k} (1,24 \sqrt[3]{V})^2 \qquad (3)$$

hetgeen overeenkomt met de formules aangehaald in de studie van Wuhrer [1].

* * *

Figuur 4 geeft de decarbonateringsduur bij 950 en 1000°C bekomen voor kubische brokken met CO_2 als spoelgas.

De voorgestelde formule kan vereenvoudigd geschreven worden als volgt :

$$t_f = A \sqrt[3]{V} + B (\sqrt[3]{V})^2$$

of ook nog :

$$t_f / \sqrt[3]{V} = A + B \sqrt[3]{V}$$

Figuur 5 toont dat, wanneer men $\sqrt[3]{V}$ en de verhouding tf $\sqrt[3]{V}$ als coördinaten neemt, de experimentele punten gelegen zijn volgens lineaire betrekkingen, waaruit de empirische waarden A en B worden afgeleid.

Voor bolvormige monsters en CO_2 als spoelgas hebben wij de volgende empirische vergelijking gevonden:

$$1000°C : \quad t_f = 0,28 . 10^2 \sqrt[3]{V} + 0,22 . 10^4 (\sqrt[3]{V})^2 \qquad (4)$$

Diensvolgens kunnen wij de waarden van de emissie- en de geleidingscoëfficiënten « c » respectievelijk « k » bepalen door de empirische vergelijking (4) te identificeren met de theoretische formule (2 bis).

Als thermische geleidingscoëfficiënt van kalk krijgen wij :

$$k = 0,53 \; kcal/h . m . °C$$

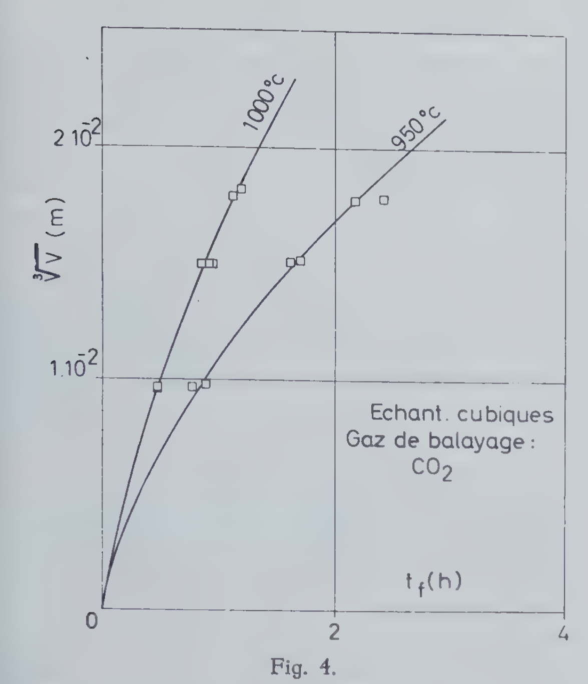


Fig. 4.

Variation de la durée de décarbonatation au cours du traitement thermique à 950 et 1.000 °C avec balayage à l'anhydride carbonique.

Verandering van de ontbindingsduur bij thermische behandeling op 950 en 1.000 °C met spoeling met koolzuuranhydride.

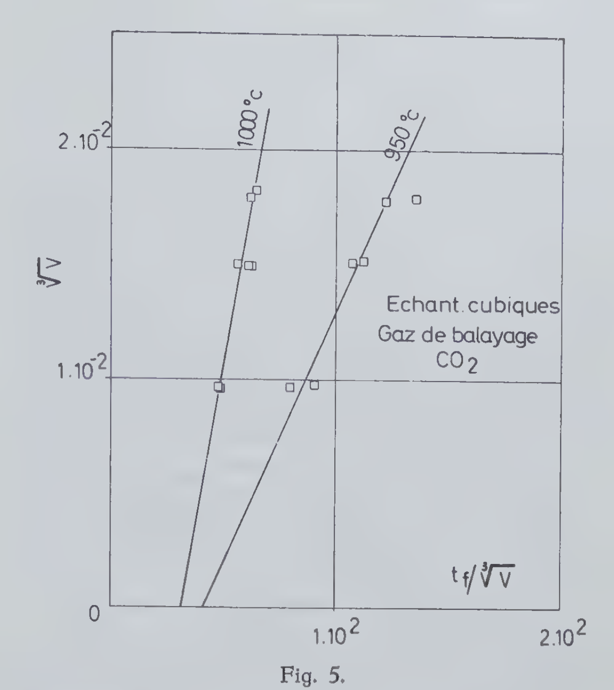


Fig. 5.

Représentation linéaire de la formule (2) sous sa forme simplifiée.

Lineaire voorstelling van de formule (2) onder haar vereenvoudigde vorm.

qui cadre de façon satisfaisante avec les valeurs que l'on trouve dans les manuels pour des produits pierreux de densité comparable (fig. 6).

Par contre, la valeur empirique $c = 1{,}62$ obtenue pour le coefficient d'émission de la surface de la chaux est étrangement faible (environ le tiers de celle du corps noir) et nous n'avons pas encore pu établir dans quelle mesure cette divergence résulte de nos conditions expérimentales (longueur limitée de la zone chaude du four) et dans quelle mesure elle traduit une caractéristique physique de la chaux.

Notons encore que, dans ces deux séries d'essais (à 950 et à 1000°C), la température de dissociation $T_D = 898°C$ se confond avec celle que l'on peut déduire de la loi d'équilibre : $\log P_D = 11{,}40 - 8{,}655\ (10^3/T_D)$ (1) pour une pression de dissociation de 10.330 kg/m². Ceci signifie que, dans ces conditions expérimentales, la porosité de la couche de CaO est

hetgeen op bevredigende wijze overeenkomt met hetgeen men in de handboeken vindt voor steenachtige produkten met vergelijkbare dichtheid (fig. 6).

Daarentegen is de empirische waarde $c = 1{,}62$ die men vindt voor de emissiecoëfficiënt van het kalkoppervlak bijzonder laag (ongeveer een derde van die van het zwarte lichaam) en wij hebben nog niet kunnen uitmaken in hoeverre deze afwijking verband houdt met onze manier van werken (beperkte lengte van de hete zone van de oven) en in hoeverre het gaat om een fysiek kenmerk van de kalk.

Wij noteren nog dat de ontbindingstemperatuur $T_D = 898°C$ in deze twee reeksen van proeven (op 950 en op 1000°C) samenvalt met die die men kan afleiden uit de wet van het evenwicht :

$$\log P_D = 11{,}40 - 8{,}655\ (10^3/T_D) \quad (1)$$

voor een ontbindingsdruk van 10.330 kg/m². Dat bete-

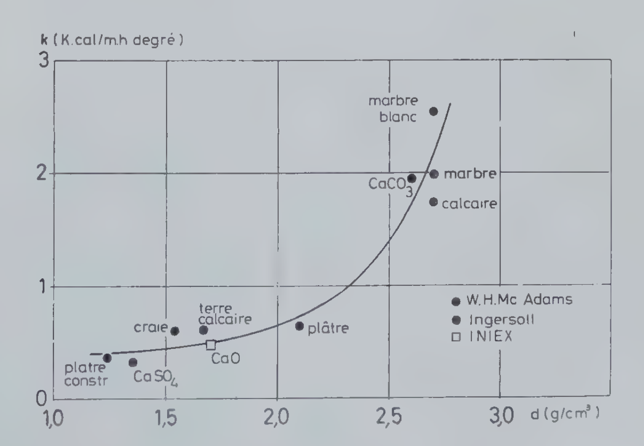


Fig. 6.

Relation entre la conductibilité thermique et la densité d'après les données de W.H. Mc Adams [2] et Ingersoll [3].

Betrekking tussen de thermische geleidendheid en de dichtheid volgens de gegevens van W.H. Mc Adams [2] en Ingersoll [3].

suffisamment élevée pour qu'aucun écart important ne se manifeste entre la pression du CO_2 dans la zone en cours de dissociation et la pression qui règne dans l'atmosphère ambiante.

La même formule — 2 bis — avec les mêmes coefficients reste applicable aux essais effectués sous des dépressions de 250 mm Hg avec des températures de four de 900°C et sous des dépressions de 500 mm Hg avec des températures de four de 900 et 850°C, pour autant que l'on donne à T_D la valeur déduite de la loi d'équilibre (1).

Par contre, pour les essais réalisés à de très fortes dépressions (de l'ordre de 750 mm Hg), la valeur réelle de T_D reste très supérieure à celle que l'on peut déduire de la loi d'équilibre.

En fait, la valeur empirique de T_D ne descend pratiquement pas en dessous de 800°C et l'on doit admettre qu'à ce niveau de température la résistance à la diffusion du CO_2 ne peut plus être négligée.

Facteur de forme.

La relation (2 bis) peut encore s'écrire sous une forme plus générale, applicable à des morceaux de calcaire de forme quelconque :

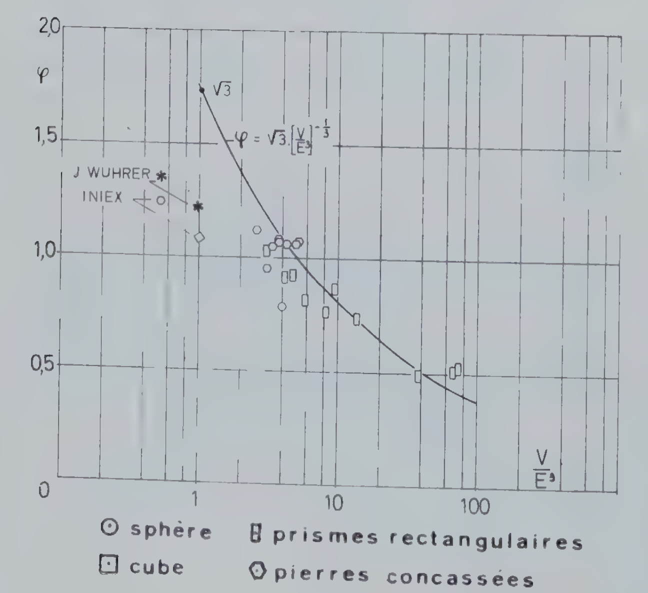
$$t_f = \frac{\rho \alpha}{24 (T_F - T_D)}$$

$$\times \left[\frac{100}{c} \left(\frac{100}{T_F}\right)^3 \varphi \sqrt[3]{V} + \frac{1}{k} (\varphi \sqrt[3]{V})^2\right] \qquad (2 \text{ ter})$$

Dans cette expression, φ représente un facteur de forme qui dépend de la géométrie du morceau et aussi, dans une certaine mesure, de la façon dont il se présente à l'intérieur du four.

Un grand nombre d'essais réalisés à la thermobalance nous ont conduits aux valeurs moyennes suivantes :

1,24 pour la sphère
1,24 pour le cube posé sur une face
1,09 pour le cube dressé sur un sommet
de 0,75 à 1,15 pour des concassés (en moy. 1,05)
0,5 pour des parallélépipèdes de très grandes élongations (V/E^3 = 40 à 80).



kent dat de porositeit van de laag kalk in de omstandigheden van deze proef voldoende hoog is opdat er geen merkbaar verschil zou optreden in de druk van het CO_2 in de ontbindingszone en de druk van de omgevende atmosfeer.

Dezelfde formule — 2 bis — en dezelfde coëfficiënten blijven toepasselijk bij onderdrukken van 250 mm Hg en oventemperaturen van 900°C en onder een onderdruk van 500 mm Hg en oventemperaturen van 900 en 850°C, voor zover men aan T_D de waarde geeft die afgeleid wordt van de evenwichtswet (1).

Voert men daarentegen proeven uit bij zeer sterke onderdruk (van de grootteorde van 750 mm Hg), dan blijft de werkelijke waarde van T_D hoger dan die die men kan afleiden uit de evenwichtswet.

In feite daalt de empirische waarde van T_D bijna niet onder de 800°C en moet men aannemen dat de weerstand tegen de diffusie van het CO_2 op dit temperatuurniveau niet meer verwaarloosbaar kan zijn.

Vormfactor.

De vergelijking (2 bis) kan ook nog onder een meer algemene vorm geschreven worden, die kan toegepast worden op kalksteenbrokken met eender welke vorm :

$$t_f = \frac{\rho \alpha}{24 (T_F - T_D)}$$

$$\times \left[\frac{100}{c} \left(\frac{100}{T_F}\right)^3 \varphi \sqrt[3]{V} + \frac{1}{k} (\varphi \sqrt[3]{V})^2\right] \qquad (2 \text{ ter})$$

In deze uitdrukking stelt φ een vormfactor voor die afhangt van de geometrische vorm van het brokstuk en ook in zekere mate van de manier waarin het in de oven ligt.

Dank zij een groot aantal met de thermobalans uitgevoerde proeven hebben wij de volgende gemiddelde waarden gevonden :

1,24 voor de bol
1,24 voor de kubus die op een vlak staat
1,09 voor een kubus die op een hoekpunt staat
van 0,75 tot 1,15 voor breukstenen (gemiddeld 1,05)
0,5 voor parallelepipedums met grote lengteverhouding (V/E^3 = 40 tot 80).

Fig. 7.

Variation du facteur de forme en fonction de l'élongation pour des formes géométriques définies. La courbe en trait plein représente la relation de Wuhrer pour des pierres plates.

Verandering van de vormfactor in functie van de lengteverhouding voor bepaalde geometrische vormen. De kromme in volle lijnen geeft de betrekking van Wuhrer voor platte stenen.

sphère = bol.
cube = kubus.
prismes rectangulaires = rechthoekige vormen.
pierres concassées = gebroken stenen.

La figure 7 montre l'évolution du facteur φ en fonction de l'élongation des morceaux, définie comme rapport entre le volume total et le cube de l'épaisseur moyenne du morceau. Elle contient également les valeurs expérimentales déduites des études de Wuhrer et correspondant à des sphères, à des cubes et à des éléments infiniment plats.

Les points expérimentaux restent raisonnablement bien groupés si l'on tient compte du fait que le calcaire est un matériau naturel dont les caractéristiques physiques et chimiques ne sont pas rigoureusement reproductibles.

4. CINETIQUE DE LA DECOMPOSITION DANS UN FOUR TUBULAIRE EN PRESENCE D'UN BALAYAGE D'AZOTE

Tous les essais que nous avons discutés jusqu'ici étaient réalisés en présence d'une ambiance de CO_2 suivant le mode de décomposition que nous avons comparé à l'« ébullition ».

Les essais suivants ont été réalisés sous balayage d'azote à des températures de four de 1000 - 950 - 900 et 850°C sous un régime qui s'apparente à celui du séchage par « évaporation ».

Les valeurs expérimentales reportées à la figure 8 pour des essais réalisés sur des cubes de 10, 15 et 18 mm de côté, d'une part, en présence d'azote et, d'autre part, en présence de CO_2, font apparaître une réduction de la durée de dissociation, assez limitée, à 1000°C, mais qui devient déjà très importante à 950°C (de l'ordre du simple au double).

Les durées de décomposition en fonction de $\sqrt[3]{V}$ sont exprimées à la figure 9 pour des échantillons cubiques de 10, 15 et 18 mm de côté respectivement et

Figuur 7 toont hoe de factor φ evolueert in functie van de lengteverhouding der stukken, verhouding die wordt bepaald als zijnde de verhouding tussen het totale volume en de derdemacht van de gemiddelde dikte der stukken. Ze bevat eveneens experimentele waarden afgeleid van de werken van Wuhrer en overeenkomend met bollen, kubussen en oneindig platte elementen.

De experimentele punten blijven vrij goed gegroepeerd als men er rekening mee houdt dat kalksteen een natuurlijk materiaal is waarvan de natuur- en scheikundige eigenschappen niet streng kunnen nagebootst worden.

4. CINETICA VAN DE ONTBINDING IN EEN BUISVORMIGE OVEN MET STIKSTOF ALS SPOELGAS

Al de tot nu toe besproken proeven werden uitgevoerd in een CO_2-omgeving volgens de manier van ontbinden die wij met « koken » hadden vergeleken.

De volgende proeven werden uitgevoerd onder een stikstofstroom met oventemperaturen van 1000 - 950 - 900 en 850°C onder een regime dat gelijkt op dat van de « verdamping ».

De experimentele waarden van figuur 8, betrekking hebbend op proeven die werden uitgevoerd op kubussen van 10, 15 en 18 mm zijde, in aanwezigheid van stikstof enerzijds en van CO_2 anderzijds, wijzen op een overigens beperkte vermindering van de ontbindingsduur bij 1000°C, die evenwel reeds zeer belangrijk wordt bij 950°C (van het enkele tot het dubbele).

De ontbindingstijd wordt in functie van $\sqrt[3]{V}$ uitgedrukt in de figuur 9 voor kubische monsters van 10, 15 en 18 mm zijde en voor behandelingstemperaturen

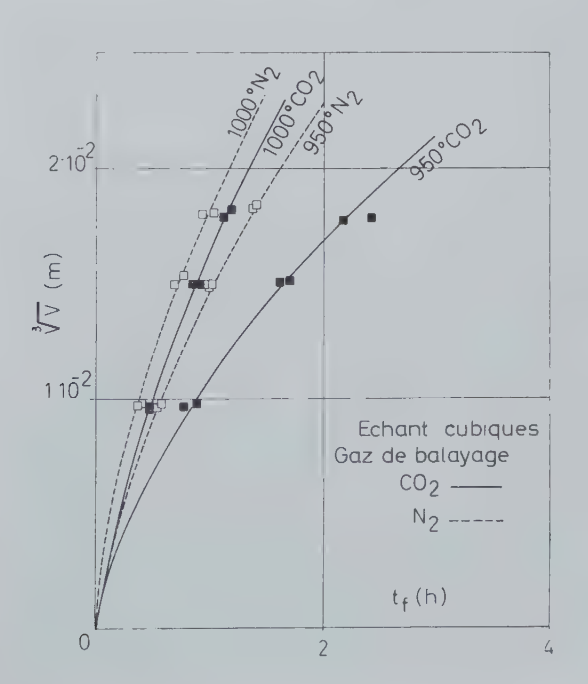


Fig. 8.

Influence de la nature du gaz de balayage sur la durée de décarbonatation à 950 et 1.000 °C.

Invloed van de aard van het spoelgas op de decarbonateerduur bij 950 en 1.000 °C.

pour des températures de traitement variant entre 1000 et 850°C. On constate que la durée de décarbonatation s'accroît considérablement avec la dimension de l'échantillon pour des températures inférieures à 950°C.

van 1000 tot 850°C. Men ziet dat de decarbonateringsduur merkelijk toeneemt met de afmetingen van het monster voor temperaturen onder de 950°C.

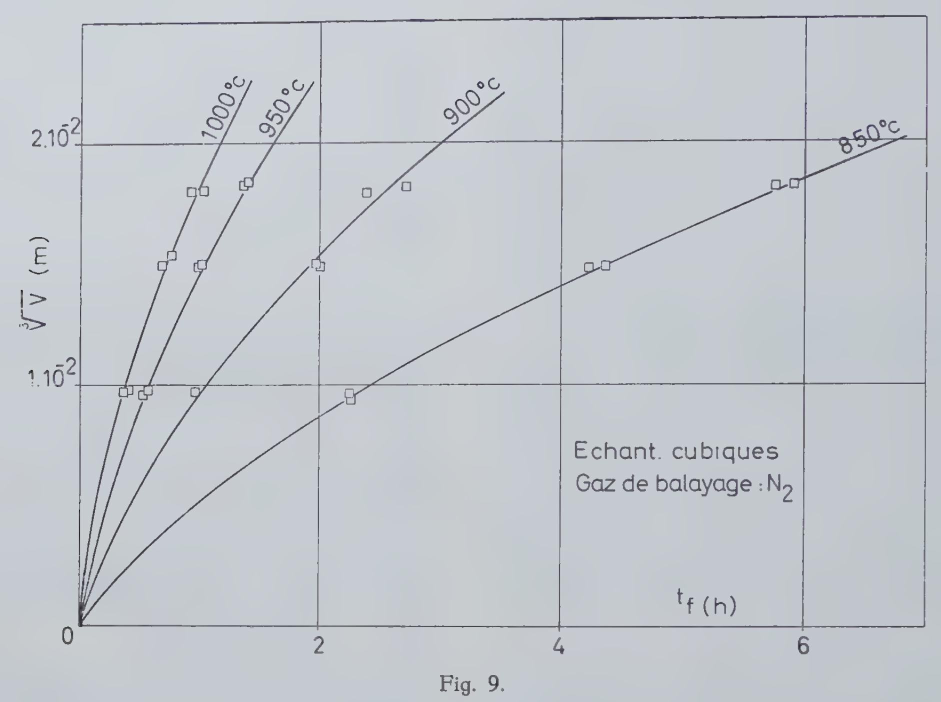


Fig. 9.

Variation en fonction de la température du four, de la durée de décarbonatation pour des échantillons cubiques de 10, 15 et 18 mm de côté posés sur une face, avec balayage à l'azote.

Verandering van de decarbonateerduur in functie van de oventemperatuur, voor kubische monsters met 10, 15 en 18 mm zijde, geplaatst op een zijvlak, met stikstofspoeling.

Ces relations peuvent être exprimées sous une forme linéaire en utilisant les mêmes coordonnées que précédemment. Elles se traduisent par les équations empiriques suivantes :

850°C

$$t_f = 1,46 \,.\, 10^2 \sqrt[3]{V} + 0,98 \,.\, 10^4 \sqrt[3]{V}^2 \qquad (5\ a)$$

900°C

$$t_f = 0,61 \,.\, 10^2 \sqrt[3]{V} + 0,45 \,.\, 10^4 \sqrt[3]{V}^2 \qquad (5\ b)$$

950°C

$$t_f = 0,35 \,.\, 10^2 \sqrt[3]{V} + 0,23 \,.\, 10^4 \sqrt[3]{V}^2 \qquad (5\ c)$$

1000°C

$$t_f = 0,22 \,.\, 10^2 \sqrt[3]{V} + 0,18 \,.\, 10^4 \sqrt[3]{V}^2 \qquad (5\ d)$$

On pourrait penser que les résultats obtenus en abaissant la pression partielle du CO_2 par l'effet d'un balayage d'azote sont identiques à ceux que l'on obtient par un abaissement de la pression totale à l'intérieur du four.

En fait, les deux phénomènes sont très différents car, pour que le balayage d'azote puisse effectivement influer sur la tension du CO_2 dans la zone de dissociation, il est nécessaire que l'azote diffuse à contre-

Deze vergelijkingen kunnen onder een lineaire vorm geschreven worden, met gebruikmaking van dezelfde coördinaten als voorheen. De empirische vergelijkingen zijn de volgende :

850°C

$$t_f = 1,46 \,.\, 10^2 \sqrt[3]{V} + 0,98 \,.\, 10^4 \sqrt[3]{V}^2 \qquad (5\ a)$$

900°C

$$t_f = 0,61 \,.\, 10^2 \sqrt[3]{V} + 0,45 \,.\, 10^4 \sqrt[3]{V}^2 \qquad (5\ b)$$

950°C

$$t_f = 0,35 \,.\, 10^2 \sqrt[3]{V} + 0,23 \,.\, 10^4 \sqrt[3]{V}^2 \qquad (5\ c)$$

1000°C

$$t_f = 0,22 \,.\, 10^2 \sqrt[3]{V} + 0,18 \,.\, 10^4 \sqrt[3]{V}^2 \qquad (5\ d)$$

Men zou kunnen denken dat de resultaten die men bekomt als men de partiële druk van het CO_2 vermindert door stikstof te gebruiken als spoelgas, dezelfde zijn als die, die men bekomt wanneer men de totale druk in de oven vermindert.

In werkelijkheid zijn beide fenomenen totaal verschillend. Opdat het spoelen met stikstof immers een werkelijke invloed zou hebben op de CO_2-spanning in de ontbindingszone moet de stikstof in tegenstroom

courant à travers toute l'épaisseur de la zone de calcaire déjà composée et il en résulte que la tension partielle du CO_2 dans la zone en cours de dissociation reste très supérieure à celle qui existe dans l'atmosphère extérieure.

Pour établir une relation empirique sur laquelle on puisse baser le calcul de la température et de la pression de dissociation, il faut recourir à la méthode suivie en psychrométrie pour l'établissement de la formule de Sprung qui, dans le domaine du séchage, lie les quatre grandeurs : t_s, t_h, p_h et p_{H_2O} et qui s'écrit :

$$(p_h - p_{H_2O}) = k\ (t_s - t_h) \qquad (6)$$

L'ensemble des données expérimentales relatives aux essais réalisés à 850 - 900 et 950°C nous a conduits à une formule empirique un peu plus compliquée dont l'expression est la suivante :

$$[15\ \sqrt{C} + 0{,}143\ (T_S - T_D)]\ (p_D - p_{CO_2}) = (T_S - T_D) \,.\, 10^3$$

avec les notations :

- C : côté du cube exprimé en m
- T_S : température de la surface des morceaux (°K)
- T_D : température de dissociation (°K)
- p_D : pression de dissociation (kg/m²)
- p_{CO_2} : pression partielle du CO_2 dans l'atmospère du four (kg/m²).

5. CONCLUSIONS

Ces essais nous ont conduits à distinguer deux régimes de décomposition :

— Un régime qui s'apparente à l'«ébullition» et qui concerne les essais réalisés à des températures supérieures à 950°C. Dans ce régime, le phénomène dépend essentiellement des transferts de chaleur.

— Un deuxième régime comparable à l'« évaporation » qui non seulement fait appel au transfert de chaleur, mais est influencé également par des transferts par diffusion gazeuse à l'intérieur des morceaux. Ce régime est caractérisé par une faible vitesse de chauffe et par le balayage d'un gaz autre que le CO_2 qui a pour effet d'abaisser la pression partielle du CO_2 à l'intérieur du calcaire par dilution.

Nous proposons une formule générale qui permet de déterminer le temps de décomposition d'un calcaire de forme quelconque connaissant son poids, son épaisseur et la température de surface de l'échantillon dans le four.

Lorsque le régime de décomposition est du type « ébullition », la valeur de T_D à introduire dans la

diffunderen doorheen de laag reeds ontbonden kalksteen en daaruit volgt dat de partiële CO_2-spanning in volle ontbindingszone heel wat hoger ligt dan die, die bestaat in de buitenatmosfeer.

Om een empirische formule op te stellen waarop de berekening kan gebaseerd worden van de ontbindingstemperatuur en -druk, moet men de methode aanwenden die in de psychrometrie wordt gebruikt voor het opmaken van de formule van Sprung, die in het domein van het drogen het verband legt tussen de volgende 4 grootheden : t_s, t_h, p_h en p_{H_2O} en die de volgende vorm heeft :

$$(p_h - p_{H_2O}) = k\ (t_s - t_h) \qquad (6)$$

Het geheel van de experimentele gegevens betreffende de proeven op 850-900 en 950°C heeft ons geleid tot een wat meer ingewikkelde empirische formule die geschreven wordt als volgt :

$$[15\ \sqrt{C} + 0{,}143\ (T_S - T_D)]\ (p_D - p_{CO_2}) = (T_S - T_D) \,.\, 10^3$$

met volgende symbolen :

- C : zijde van de kubus uitgedrukt in m
- T_S : temperatuur van het oppervlak der brokstukken (°K)
- T_D : ontbindingstemperatuur (°K)
- p_D : ontbindingsdrukking (kg/m²)
- p_{CO_2} : partiële druk van het CO_2 in de ovenatmosfeer (kg/m²).

5. BESLUITEN

Deze proeven hebben ons ertoe geleid twee regimes van ontbinding te onderscheiden :

— Een regime dat verwant is met het « koken » en betrekking heeft op de proeven uitgevoerd op temperaturen van meer dan 950°C. In dit regime hangt het fenomeen hoofdzakelijk af van de warmteoverdracht.

— Een tweede regime vergelijkbaar met de « verdamping » waarbij niet alleen op de warmteoverdracht beroep gedaan wordt maar die ook beïnvloed wordt door de gasdiffusie in het inwendige van de stukken. Kenmerkend voor dit regime zijn een kleine verwarmingssnelheid en het gebruik van een ander spoelgas dan CO_2 hetgeen tot gevolg heeft dat de partiële druk van het CO_2 verlaagd wordt in het inwendige van de kalksteen die ontbonden wordt.

Wij stellen een algemene formule voor waarmee de ontbindingstijd van kalksteen kan bepaald worden, eender welke zijn vorm is, op voorwaarde dat men zijn gewicht kent, zijn dikte en de oppervlaktetemperatuur van het monster in de oven.

Wanneer het ontbindingsregime van het type « koken » is, kan de waarde van T_D die in de formule

formule peut, avec une approximation suffisante, être déduite directement de la pression ambiante et de la loi d'équilibre qui lie pression et température de dissociation.

Lorsque le régime de décomposition est du type « évaporation », la valeur de T_D peut être obtenue à partir de la relation empirique qui lie les quatre grandeurs T_S, T_D, p_D et p_{CO_2}.

* * *

Cette étude de laboratoire et les différentes formules qu'elle a permis d'établir ne constituent pas un aboutissement final, mais une étape sur le chemin d'une meilleure connaissance des phénomènes physico-chimiques qui se déroulent dans les fours industriels.

Elle devrait normalement se poursuivre par l'établissement d'un modèle mathématique pour chaque type de four, modèle dans lequel devraient intervenir toutes les données résultant de la géométrie du four, de la grosseur des morceaux traités, des débits solides et des débits gazeux soufflés ou aspirés.

L'établissement d'un modèle de ce genre est une entreprise importante qui ne pourrait être envisagée que sur la base de relevés méthodiques faits dans des fours industriels. Il nous paraît cependant qu'elle pourrait accélérer l'évolution de la technique par une meilleure connaissance de l'effet des différents paramètres et par une recherche systématique des conditions optimales d'exploitation.

gebruikt moet worden, rechtstreeks met een voldoende nauwkeurigheid worden afgeleid van de omgevingsdruk en van de evenwichtswet die een rechtstreeks verband legt tussen druk en temperatuur van de ontbinding.

Is het ontbindingsregime van het « verdampingstype » dan kan de waarde T_D gevonden worden uitgaande van de empirische betrekking tussen de vier grootheden T_S, T_D, p_D en p_{CO_2}.

* * *

Deze laboratoriumstudie en de verschillende formules die men ermee bekomen heeft betekenen geen eindpunt, maar een stap op de weg naar een betere kennis van de fysico-chemische verschijnselen die zich afspelen in de industriële ovens.

Het logische vervolg ervan zou het opstellen zijn van een matematisch model voor elk type van oven, model waarin al de gegevens zouden aanwezig zijn volgens uit de geometrische vorm van de oven, de dikte van de behandelde stukken, het debiet in vaste en in gasvormige stoffen, geblazen of afgezogen worden.

Een soortgelijk model oprichten is een grote onderneming waaraan enkel kan gedacht worden op grond van methodisch uitgevoerde opnamen in de industriële ovens. Toch schijnt het ons toe dat de evolutie der techniek op die manier kan versneld worden door een betere kennis van de invloed der verschillende parameters en door een systematisch opzoeken van de optimale werkingsomstandigheden.

BIBLIOGRAPHIE — BIBLIOGRAFIE

[2] W.H. Mc ADAMS : Transmission de la chaleur. Trad. de J. Boudrot. Edit. Dunod, Paris, 1950.

[3] INGERSOLL — ZOBEL — INGERSOLL : Heat conduction with Eng. Geolog. and other applications. Edit. Madison. The University of Wisconsin Press, 1954.

Le four Maerz et ses performances

De Maerz-oven en zijn prestaties

P. CUVELIER *

RESUME

L'auteur rappelle brièvement le principe de fonctionnement et les avantages des fours à cuves pour la fabrication de la chaux. Il donne quelques résultats pratiques qui confirment l'excellence du procédé et de l'installation, énonce quelques problèmes d'exploitation et forme le vœu que ses collègues chaufourniers réserveront un bon accueil à l'initiative de la S.A. Carmeuse de constituer un comité technique groupant les utilisateurs des fours décrits.

INHALTSANGABE

Der Verfasser schildert kurz Arbeitsweise und Vorteile von Schachtöfen für die Kalkerzeugung. Er teilt im praktischen Betrieb erzielte Ergebnisse mit, die für die Vorzüge des Verfahrens und der Anlage sprechen, behandelt einige Betriebsprobleme und schließt mit dem Wunsch, daß die Anregung der Gesellschaft Carmeuse, einen Technischen Ausschuß der Betreiber von Schachtöfen zu bilden, ein günstiges Echo findet.

SAMENVATTING

De auteur herhaalt in het kort het werkingsprincipe en de voordelen van de kuipovens voor de bereiding van kalk. Hij geeft enkele praktische resultaten die het bewijs leveren van de kwaliteiten van het procédé en de uitrusting, vermeldt enkele bedrijfsproblemen en drukt de hoop uit dat zijn collega's-kalkbranders gunstig zullen staan ten opzichte van het initiatief der S.A. Carmeuse om een technisch comité op te richten dat al de gebruikers van de hier beschreven ovens groepeert.

SUMMARY

The author briefly recalls the working principle and the advantages of tank furnaces for the manufacture of lime. He gives a few practical results which confirm the excellence of the process and installation, describes some working problems and expresses the wish that his colleagues in the industry will welcome the initiative of Carmeuse LTD, to form a technical committee representing the users of the furnaces described.

* Directeur Technique Adjoint à la S.A. Carmeuse, B-5210 Seilles.

Depuis la mise en service en mars 1969 du four à trois cuves au siège de Moha, nous avons pu retirer quelques enseignements intéressants qui feront l'objet du présent exposé.

Rappelons brièvement le principe de ce four : il est constitué de trois cuves cylindriques verticales reliées, à un niveau déterminé, par un carneau de liaison; les cuves sont maintenues constamment pleines par régulation de défournement de la chaux à la partie inférieure et l'alimentation en pierres à la partie supérieure.

Le combustible utilisé est le gaz naturel et le calibre des pierres est de 50 - 90 mm. L'originalité du système réside dans le sens des courants gazeux qui alternativement suivent un cheminement parallèle aux pierres dans la cuve en combustion et à contre-courant dans les cuves en récupération. Cette circulation alternative s'effectue par cycle d'une durée d'environ 12 minutes, par pivotement du gueulard, devant assurer après chaque mouvement l'étanchéité du système. Comme celle-ci est difficile à obtenir, les nouveaux modèles de four comportent une trémie à pierres à trois directions (une pour chaque cuve) comprenant des clapets commandés par vérins hydrauliques et fonctionnant à chaque cycle.

Etant donné la longueur du cheminement des gaz et fumées, la perte de charge est assez importante et la pression de soufflage de l'air de combustion est de l'ordre de 2,500 mm de C.E. Introduit par le gueulard, l'air est distribué à la cuve en combustion, mais la pression tend à soulever le gueulard et donc à diminuer la pression spécifique sur le joint d'étanchéité : son élasticité n'est pas grande parce qu'on a dû faire appel à des composés de silicones moins souples que le caoutchouc, mais offrant une résistance beaucoup plus élevée à la température. Tout défaut d'étanchéité compromet évidemment le régime harmonieux de circulation de l'air et des fumées à travers les cuves et le rendement ou la qualité de la chaux en souffrent.

Au point de vue thermique, ce principe de four réalise au mieux le vieux rêve des chaufourniers consistant à récupérer l'excès de calories se trouvant dans la zone de préchauffage des pierres et compenser le manque de calories de la zone de refroidissement de la chaux. Cette zone, en effet, ne reçoit que la quantité d'air dont la masse calorifique équilibre à peu près celle de la chaux quittant la zone de décarbonatation; en volume, cette quantité est d'environ 0,760 m^3/kg de chaux.

En fait, la consommation calorifique globale

Sinds de Maerz-oven met drie kuipen in maart 1969 in de zetel Moha in bedrijf genomen werd hebben wij enkele belangrijke dingen ondervonden waarover we hier willen spreken.

Wij herinneren in het kort aan het werkingsprincipe van de oven : hij bestaat uit drie vertikale cilindrische kuipen die met elkaar verbonden zijn op een bepaalde hoogte door middel van een verbindingskanaal; men houdt de kuipen altijd gevuld, door regeling van het lossen van de kalk aan de onderkant en het laden van stenen aan de bovenkant.

Als brandstof gebruikt men aardgas en de stenen hebben een kaliber van 50-90 mm. Het originele van het systeem bestaat in de richting van de gasstroom die afwisselend dezelfde weg volgt als de stenen in de kuip waarin de verbranding plaats vindt en in tegenstroom gaat in de kuipen in recuperatie. Deze afwisseling wordt bekomen in een cyclus van ongeveer 12 min, door middel van kantelende monden, die na elke beweging de dichtheid van het systeem moeten waarborgen. Aangezien men deze dichtheid moeilijk bekomt hebben de nieuwe modellen van ovens een steenschuif met drie richtingen (één per oven) en de daarbij horende kleppen die door hydraulische cilinders bewogen worden en bij elke cyclus in werking treden.

Gezien de lengte van de weg die de gassen en de rookgassen moeten afleggen is er een tamelijk groot ladingsverlies en wordt de verbrandingslucht ingeblazen onder een druk van de grootteorde van 2,500 mm waterkolom. De lucht komt binnen langs de ovenmond en verdeelt zich over de verbrandingskuip, maar de lucht heeft een neiging om de ovenmond op te lichten en dus de specifieke druk op de dichtingsvoeg te doen afnemen : deze voeg nu is niet erg soepel want men heeft zijn toevlucht moeten nemen tot siliconensamenstellingen die minder soepel zijn dan gummi maar een veel hogere weerstand hebben tegen de temperatuur. Vanzelfsprekend betekent elk defect in de afdichting een gevaar voor het goede cirkulatieregime van de lucht en de rookgassen door de kuipen en lijdt de kwaliteit van de kalk daaronder.

Uit thermisch oogpunt komt het principe van deze oven zo goed mogelijk tegemoet aan de oude droom van de kalkbranders om het overschot van calorieën te recupereren in de zone van voorverwarming van de stenen en het tekort aan calorieën te compenseren in de afkoelingszone van de kalk. Deze zone krijgt immers slechts die hoeveelheid lucht waarvan de calorische massa ongeveer in evenwicht staat met die van de kalk die uit de carboniseerzone komt; in volume bedraagt deze hoeveelheid ongeveer 0,760 m^3/kg kalk.

In werkelijkheid is het globaal verbruik van

est excellente, voisine de 900 kcal/kg de chaux, et nous ne croyons pas qu'il existe d'autres systèmes de fours donnant un meilleur rendement pour une chaux de qualité.

Le CO_2 résiduel dans la chaux défournée se maintient régulièrement entre 1 et 2 %, et la réactivité est excellente: plus de 65°C à 5 minutes à l'essai A.S.T.M.

Cependant, comme dans tout engin perfectionné et fortement mécanisé, les causes de dérangement ou de pannes sont en fonction du nombre de mécanismes opérants : il est donc impérieux que ceux-ci soient très largement calculés et correctement entretenus. Périodiquement, il est nécessaire de nettoyer les carneaux à fumées où les poussières de chaux, à la température qui y règne (± 1150°C), ont tendance à s'agglomérer: il est possible que les faibles teneurs en alcalis contenus dans la pierre en soient responsables, une étude est en cours à ce sujet.

Les lances à gaz, constituées de tuyaux de 2,600 mm plongeant verticalement dans les pierres, doivent être de la meilleure qualité d'acier réfractaire : on peut estimer que l'acier austénitique 18/8 Cr-Ni résiste environ 6 mois, tandis que le 25/20 résistera 18 mois et peut-être plus. Les causes de destruction des lances sont multiples, il serait trop long d'en parler ici, mais il faut bien constater que leur usure n'est pas homogène, de sorte qu'une lance raccourcie provoquera la combustion du gaz à un niveau plus élevé risquant de détériorer les lances voisines.

Entre les périodes de combustion, les lances sont purgées à l'aide d'air comprimé à 4 kg/cm^2 : faut-il effectuer une purge continue ou discontinue, il semble y avoir des partisans pour chacune des possibilités. Les mécanismes de défournement, très efficaces par ailleurs au point de vue homogénéité de la descente des matières, constituent cependant un point délicat concernant plus spécialement la lubrification; présence de poussières de chaux, température et accessibilité aux mécanismes internes rendent difficile une lubrification correcte.

Si nous avons parlé de quelques points particuliers ayant attiré notre attention depuis la mise en service du four, il en existe d'autres qui, sans compromettre le régime normal de fonctionnement, mériteraient d'être perfectionnés. Il faut reconnaître ici que nous avons toujours bénéficié de l'entière collaboration de la firme Maerz dont les techniciens sont extrêmement compétents et dynamiques, mais il nous paraît cependant souhaitable que des concertations sur le plan technique puissent avoir lieu périodiquement entre utilisateurs de ce type de four. Notre société est prête à collaborer utilement à semblable initia-

calorieën zeer goed, namelijk ongeveer 900 kcal/kg kalk, en denken wij niet dat er andere ovensystemen bestaan die een beter rendement hebben en kwaliteitskalk leveren.

Het residuele CO2 in de geloste kalk blijft regelmatig tussen 1 en 2 %, en de reactiviteit is zeer goed : meer dan 65°C na 5 minuten volgens de proef A.S.T.M.

Zoals in elk vervolmaakt en sterk gemechaniseerd apparaat stijgen echter ook de oorzaken van storingen en defecten met het aantal mechanismen dat wordt in gang gezet : het is dus absoluut noodzakelijk dat deze mechanismen zeer breed berekend worden en op de juiste manier onderhouden. Men moet een periodisch onderhoud verrichten in de rookkanalen waarin het kalkstof op de daar heersende temperatuur (zowat 1150° C) een neiging heeft om te agglomereren; mogelijk zijn de kleine hoeveelheden alkalimetalen in de stenen daarvan de oorzaak; men is bezig dit te onderzoeken.

De gaslansen, bestaande uit buizen van 2,600 mm die vertikaal in de stenen steken, moeten van de beste kwaliteit vuurvast staal zijn : men kan zeggen dat austenitisch 18/8 Cr-Ni-staal ongeveer 6 maanden duurt, terwijl 25/20, 18 maanden duurt en misschien meer. Er zijn talrijke redenen waarom lansen vernield worden, teveel om hier te vermelden, doch men moet toegeven dat de slijtage ervan niet homogeen is, zodat een korter geworden lans het gas zal doen ontbranden op een hoger niveau hetgeen beschadiging van de naburige lansen kan teweegbrengen.

Tussen de brandperioden worden de lansen gezuiverd met behulp van perslucht onder een druk van 4 kg/cm^2; moet men continu of discontinu uitblazen ? Beide systemen hebben hun voorstanders. De losmechanismen, die overigens zeer geschikt zijn om de lading homogeen te laten zakken, hebben daarentegen een zwak punt meer, bijzonder inzake smering; een goede smering wordt bemoeilijkt door kalkstof, temperatuur, gebrekkige toegankelijkheid van de inwendige mechanismen.

Wij hebben gesproken over enkele punten die sedert het in bedrijfstellen bijzonder onze aandacht getrokken hebben; er zijn er andere die het normale werkingsregime niet in gevaar brengen maar toch zouden mogen verbeterd worden. Wij mogen hier toegeven dat wij altijd hebben mogen rekenen op de volledige medewerking van de firma Maerz die zeer bekwame en dynamische techniekers heeft, maar toch lijkt ons een zekere verstandhouding op het technisch vlak tussen de gebruikers van dit type van oven nuttig. Onze maatschappij is bereid positief aan soortgelijk initiatief mee te werken, ze heeft het reeds

tive, elle l'a déjà fait indirectement par le canal de Maerz en proposant certaines modifications qui ont été adoptées dans les nouvelles constructions. Chaque installation peut avoir ses particularités, ne fût-ce que par les caractéristiques propres de la pierre enfournée, mais globalement nous restons persuadés que les mêmes problèmes se posent tôt ou tard et il est de l'intérêt de tous les utilisateurs d'éviter des expériences que d'autres ont déjà faites.

Pour concrétiser cette initiative, nous nous proposons d'inviter prochainement les utilisateurs de fours Maerz à une première prise de contact afin de déterminer ensemble les modalités de la collaboration technique envisagée et nous souhaitons ardemment rencontrer l'accueil le plus favorable.

onrechtstreeks gedaan langs de firma Maerz om, door het voorstellen van sommige wijzigingen die voor nieuwe constructies werden aanvaard. Elke installatie kan haar eigenaardigheden hebben, al was het maar vanwege de kwaliteit van de geladen stenen, maar in het algemeen komen dezelfde problemen volgens onze vaste overtuiging vroeg of laat aan bod en elke gebruiker heeft er belang bij experimenten die anderen reeds hebben uitgevoerd, achterwege te laten.

Om dit initiatief concreet uit te werken nemen wij ons voor de gebruikers van Maerz-ovens binnenkort uit te nodigen voor een eerste contact zodat wij samen de modaliteiten kunnen bepalen voor de beoogde samenwerking. Wij hopen op aller instemming.

Sélection des fiches d'INIEX

INIEX publie régulièrement des fiches de documentation classées, relatives à l'industrie charbonnière et qui sont adressées notamment aux charbonnages belges. Une sélection de ces fiches paraît dans chaque livraison des Annales des Mines de Belgique.

Cette double parution répond à deux objectifs distincts :

a) *Constituer une documentation de fiches classées par objet,* à consulter uniquement lors d'une recherche déterminée. Il importe que les fiches proprement dites ne circulent pas ; elles risqueraient de s'égarer, de se souiller et de n'être plus disponibles en cas de besoin. Il convient de sleconserver dans un meuble ad hoc et de ne pas les diffuser.

b) *Apporter régulièrement des informations groupées par objet,* donnant des vues sur toutes les nouveautés.

C'est à cet objectif que répond la sélection publiée dans chaque livraison.

A. GEOLOGIE. GISEMENTS. PROSPECTION. SONDAGES.

IND. **A 13** Fiche n° **55.695**

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (Orléans-la-Source). La géomicrobiologie. Aperçu sur l'importance des micro-organismes dans le domaine minéral. — **Annales des Mines (France),** 1970, mai, p. 31/40, 3 fig.

De nombreux phénomènes géologiques peuvent être sous la dépendance de la matière vivante. Dans le but de montrer l'importance de phénomènes vitaux, nous avons examiné dans ce bref exposé les caractéristiques de la matière vivante bactérienne, son mode d'action, son activité sur l'environnement organique et minéral. A propos de ce dernier, pour l'illustrer et en montrer les conséquences géologiques et économiques, nous avons pris quelques exemples parmi les travaux les plus importants : genèse des dépôts de soufre, genèse ou dégradation des sulfures métalliques, interactions microbiennes avec le fer et le manganèse. Dans la dernière partie de cet essai, nous avons fait le point des travaux du B.R.G.M. dont les thèmes de recherche sont : la biocorrosion des minéraux silicatés et l'action oxydante et réductrice sur les dérivés du soufre.

Biblio. 10 réf.

Résumé de la revue.

IND. **A 2543** Fiche n° **55.838**

H. REICHELT. Die Aufgaben der geologischen Forschung im Ruhrrevier. *Les problèmes de la recherche*

géologique dans le bassin de la Ruhr. — **Glückauf,** 1970, 9 juillet, p. 683/690, 3 fig.

L'auteur expose l'état actuel des études sur la structure et la stratigraphie des formations du Houiller de la Ruhr, sur la tectonique et sur les caractéristiques et propriétés des couches de charbon et de leurs épontes. En fait, ceci constitue partiellement le bilan des activités développées par la Commission « Géologie » près le St.B.V. et des connaissances qu'elle a récoltées. Pour conclure, l'article énumère les principaux problèmes qui restent à résoudre. *Plan de l'étude.* I. Etat actuel des connaissances sur la structure, la stratigraphie du Houiller de la Ruhr. 1) Limite inférieure de l'assise de Sprockhövel. 2) Limite entre les assises de Witten et de Bochum. 3) Assises de Bochum, d'Essen, de Horst et de Dorsten. 4) Résultats des discussions et débats. II. Etat des connaissances sur la tectonique. III. Propriétés et caractéristiques des couches et de leurs épontes. IV. Problèmes géologiques à résoudre dans un proche avenir dans l'intérêt de l'industrie houillère : a) Reconnaissance géologique des parties de gisement inconnues et insuffisamment reconnues. b) Détermination des réserves totales de charbon et propriétés de celle-ci. c) Valorisation plus large et plus profonde des résultats d'études sur les propriétés des couches de charbon.

Biblio. 29 réf.

IND. **A 34** Fiche n° **55.716**

H. BOIGK et W. STAHL. Zum Problem der Entstehung nordwestdeutcher Erdgaslagerstätten. *Problème de la formation des gisements de gaz naturel de l'Allemagne nord-occidentale.* — **Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie,** 1970, juin, p. 325/333.

Les gisements de gaz naturel du N.O. de l'Allemagne sont situés à la bordure méridionale du grand bassin épicontinental qui s'est développé en marge de l'avant-pays, au cours du Carbonifère supérieur. Ce bassin accumula des sédiments sur une épaisseur de plus de 4.000 m depuis le Rotliegend jusqu'au Buntsandstein (grès bariolés). La position et la distribution des gisements de gaz — qui se trouvent en connexion directe avec des réservoirs du Carbonifère supérieur, du Rotliegend et du Buntsandstein — résultent, en première instance, de l'histoire paléogéographique de cette région. De même la composition du gaz naturel accuse des relations étroites avec le développement tant paléogéographico-épirogénique que magmatotectonique. En plus de la subdivision en provinces de l'azote, du CH_4 et du CO_2, on observe des différenciations verticales dans le chimisme du gaz naturel des réservoirs, selon l'horizon où ceux-ci se situent. Les auteurs ont tenté de saisir les interdépendances existant régulièrement en directions régionale et verticale et de les interpréter conformément à leurs aspects géologiques. Des études sur les isotopes du C fournissent des indications décisives sur la genèse du gaz naturel. Elles confirment la formation des hydro-carbures pendant tout le cours des processus de houillification relativement récents des matières organiques du Carbonifère supérieur et une migration du gaz vers des réservoirs plus récents. En règle générale, la migration verticale a résulté d'un enrichissement minimal du méthane en isotope C léger. Jusqu'à ce jour, il n'a guère été possible de prouver expérimentalement l'origine de la teneur en N du gaz naturel. Quant au CO_2 contenu dans le gaz naturel, il peut avoir une origine biogénétique (en l'occurrence dans le Emsland) ou une origine volcanique (en l'occurrence au voisinage immédiat du massif de Bramsche). C'est ce que prouvent les études sur les isotopes du C.

Biblio. 37 réf.

IND. **A 40** Fiche n° **55.735**

E.P. CHAPMAN. Why feasibility studies for very large low grade deposits must be accurate. *Pourquoi les études de possibilité d'exploitations de très importants gisements à basse teneur doivent être exactes.* — **World Mining,** 1970, juin, p. 26/30.

Les gisements métalliques riches se raréfient dans le monde et la demande de métaux augmente sans cesse. Pour le cuivre en particulier, on est conduit à exploiter des minerais à basse teneur qui existent en grand nombre et que des moyens techniques perfectionnés permettent d'exploiter avantageusement. Avant d'engager les importants investissements que nécessitent de semblables exploitations, il importe évidemment de disposer des résultats d'études préalables assez précises : des levés de prospections effectués avec l'aide des méthodes modernes les plus avancées, sondages, analyses, emploi des ordinateurs, etc. L'article fournit, à titre d'exemple, les données d'une campagne de prospection entreprise pour les mines de Brenda en Colombie Britannique sur un gisement pauvre de cuivre et molybdène avec pour objectif une production de 24.000 t/jour. L'étude a duré 15 mois et a coûté 15 millions de dollars. Les installations coûteront 60 millions de dollars.

IND. **A 43** Fiche n° **55.892**

H.V. DONOHOO, G. PODOLSKY et R.H. CLAYTON. Early geophysical exploration at Kidd Creek Mine. *La prospection géophysique préliminaire à l'exploitation de la mine de Kidd Creek.* — **Mining Congress Journal,** 1970, mai, p. 44/53, 22 fig.

Le bouclier canadien d'âge précambrien a fait l'objet de centaines de prospections aéroportées magnétiques. On a choisi une soixantaine de zones conductrices constituant des anomalies magnétiques pouvant être des gisements à exploiter, et on

y a pratiqué des sondages de reconnaissance. En réalité, on a été déçu de constater que les anomalies étaient généralement dues à des sulfures sans intérêt ou à du graphite. Le cas de Creek Mine est tout à fait différent : le gisement massif de sulfure, exploité depuis 1965, produit 12.000 t/jour et les réserves sont évaluées à plus de 60 Mio.t de minerai de zinc et d'argent. L'article donne, sur les opérations de prospection magnétique aéroportée et sur les études géologiques entreprises ensuite, une série de documents qui permettent d'apprécier la valeur des méthodes de prospection géophysique systématiquement appliquées.

IND. **A 44** Fiche n° **55.740**

V. UGEN. Géologie de l'ingénieur. Trois exemples de prospection géoélectrique. — **Université de Liège, Mémoires C.E.R.E.S.** (Centre d'Etudes, de Recherches et d'Essais Scientifiques du Génie Civil), 1969, novembre, p. 82/96, 6 fig.

Après un rappel succinct des principes et méthodes de prospection géoélectrique par résistivité — sondages et profils électriques — l'auteur fournit trois exemples de prospection illustrant les possibilités d'utilisation des procédés géoélectriques dans les travaux de l'ingénieur. Pour chacun des exemples, on montre la place prise par les procédés géophysiques dans l'ensemble des recherches géotechniques et à quel stade des informations il est apparu intéressant d'utiliser cette technique. Le premier exemple est fourni par les résultats de recherches réalisées à l'occasion de l'étude géologique d'un zoning industriel dont le substratum calcaire laissait supposer l'existence de phénomènes karstiques profonds. Le deuxième exemple est fourni par la synthèse des recherches géophysiques réalisées dans le but de préciser le point de recoupe d'une zone faillée le long du tracé d'un projet de tunnel. Enfin, le dernier exemple fournit les résultats des recherches réalisées en vue de situer une série de failles subméridiennes affectant le substratum d'une région minéralisée.

Biblio. 5 réf.

Résumé de la revue.

IND. **A 44** Fiche n° **55.870**

A. LABOUNSKY. New geophysical exploration tool under development. *Une nouvelle méthode de prospection géophysique en cours de développement.* — **Engineering and Mining Journal**, 1970, mai, p. 80/82, 6 fig.

Les laboratoires universitaires d'Oyster Bay, New York, ont mis au point une méthode de prospection par polarisation induite différentielle dénommée DIP. Deux électrodes spéciales sont placées dans le sol à une certaine distance, reliées par un câble isolé à un appareil enregistrant le courant qui passe dans le sol jusqu'à une profondeur égale à la moitié de la distance entre les deux électrodes. Toute anomalie ou particularité localisée dans la composition du sol peut être détectée par l'enregistrement du courant électrique à un certain nombre de stations judicieusement placées et jusqu'à une profondeur déterminée. Ce courant électrique est en rapport avec les équivalences électrochimiques des éléments contenus dans le champ électrique, équivalences dont les valeurs ont été déterminées et sont renseignées par l'article. Plusieurs applications de la méthode sont citées avec les résultats qu'elles ont fournis. L'appareillage utilisé est portatif et assez simple, le courant électrique est faible et les mesures sont effectuées rapidement.

IND. **A 44** Fiche n° **55.884**

D. SCHLOPIES et O. POESCHKE. Die Anwendung geoelektrischer Messungen zum Auffinden von Altstrecken und alten Abbaukammer. *L'application des mesures géoélectriques à la localisation d'anciennes voies et d'anciennes chambres d'exploitation.* — **Bergbautechnik**, 1970, juillet, p. 348/349, 3 fig.

Il est possible, en utilisant des méthodes géophysiques et surtout géoélectriques, de déceler et de localiser des excavations et vides souterrains non comblés, tels que vieilles galeries, chambres d'exploitation non remblayées, vides de dissolution (dans les gisements de sel), grosses géodes, etc. A noter que, pour localiser des systèmes ou réseaux de galeries souterraines non connus, on recourt de préférence à des mesures du gradient de la résistance électrique des terrains.

Biblio. 6 réf.

B. ACCES AU GISEMENT. METHODES D'EXPLOITATION.

IND. **B 19** Fiche n° **55.722**

P.I. ALLSOP. Shaft incident at Ackton Hall Colliery. *Incidents de puits au charbonnage Ackton Hall.* — **The Mining Engineer**, 1970, juillet, p. 569/596, (y compris discussion), 14 fig.

L'auteur traite : 1) De l'effondrement brutal du matériau de remplissage d'un vieux puits hors service, remblayé et situé au voisinage immédiat d'autres puits encore en usage. 2) Des mesures prises pour contenir l'afflux des débris faisant irruption dans les ouvrages du fond. 3) De la résolution de certains des problèmes additionnels que cette coulée créa. 4) D'une discussion de certaines des causes possibles de cet affaissement subit. L'incident est de nature telle que tout exploitant de mine, en pareille circonstance, devrait promptement procéder à l'examen des principes qu'il importerait de

suivre à l'occasion du remblayage d'un puits abandonné; c'est pour satisfaire à cette exigence que les présentes notes ont été rédigées à titre de directives.

IND. **B 30** Fiche n° **55.707**

H.W. WILD. Der Einfluss der Betriebsorganisation auf den Streckenvortrieb. *L'influence de l'organisation des travaux dans les chantiers sur le creusement des voies.* — **Nobel Hefte,** 1970, Heft 3/4, mai/juillet, p. 107/122, 16 fig.

Dans cette étude sur les possibilités d'améliorer l'organisation des travaux dans les chantiers de creusement de voies, l'auteur tient compte de tous les facteurs qui interviennent, tels que la nature des roches, le nombre d'ouvriers à la devanture de la voie, les possibilités de mécanisation, le soutènement, la coordination des différentes activités et les coûts de creusement, d'une part, en cas d'application des méthodes classiques, c'est-à-dire creusement à l'aide d'explosifs, d'autre part, en cas d'utilisation de machines de traçage. L'auteur croit que, dans un grand nombre de charbonnages, on pourrait encore améliorer par une meilleure organisation des travaux les résultats du traçage à l'aide de l'explosif. Il appuie cette thèse par plusieurs exemples et fait la suggestion particulièrement intéressante de doubler le nombre de volées par jour en réduisant la profondeur de passe, ce qui permettrait d'augmenter sensiblement la longueur totale de traçage par jour. En se basant sur une analyse des coûts réels dans plusieurs chantiers, il montre dans quelles circonstances et jusqu'à quel rendement la méthode classique, à l'aide d'explosifs, reste plus économique que l'emploi de machines de traçage.

Résumé de la revue.

IND. **B 31** Fiche n° **55.779**

A. LOMBARD. Le métro de Bruxelles. Conception générale et procédés d'exécution. — **Université de Liège, Mémoires C.E.R.E.S.** (Centre d'Etudes, de Recherches et d'Essais Scientifiques du Génie Civil), n° 29, 1969, décembre, p. 2/89, 39 fig.

Le problème de la circulation dans les agglomérations urbaines s'aggrave d'année en année. Le transport privé ne permet pas de résoudre les difficultés d'encombrement, au contraire. Seul le transport public rendu suffisamment attractif est à même de dégorger les grands axes de circulation aux heures de pointe. A cette fin, il faut le séparer de la circulation générale. La Ville de Bruxelles n'a pas échappé à ce problème mondial. Après une étude de trafic et son extrapolation dans le temps en tenant compte des projets de l'urbanisme, il a été possible de concevoir un projet d'infrastructure de transport en commun couvrant l'ensemble de l'agglomération et comportant essentiellement 4 lignes de métro. Ces lignes devront être construites en tunnel dans le centre de la ville. L'auteur expose alors les différents procédés de construction qui ont été mis en œuvre en fonction de la situation des lieux et surtout des caractéristiques défavorables du sous-sol bruxellois. Les enseignements tirés de l'exécution d'un premier axe Est-Ouest sont d'une grande importance pour les futures études et réalisations.

Résumé de la revue.

IND. **B 54** Fiche n° **55.709**

G. DOMINIK. Kostenverminderung beim Sprengen von Knäppern durch Einsatz von Geosit 2. *Diminution du coût lors du tir de pétards, en utilisant de la Geosit 2.* — **Nobel Hefte,** 1970, Heft 3/4, mai/juillet, p. 130/133, 6 fig.

La fragmentation des gros blocs de roches par coups de mine secondaires est une opération non seulement pénible, mais aussi coûteuse en raison de la haute proportion des salaires. D'autres méthodes mécaniques de concassage, par exemple à l'aide d'instruments de fissuration, coûtent souvent trop cher. L'auteur décrit une nouvelle méthode de fragmentation à l'aide de l'explosif Geosit 2 qui a conduit à une solution optimale du problème en assurant une fragmentation suffisante et une dispersion limitée des débris sans dépasser un niveau de bruit tolérable. Grâce à la réduction de la profondeur des trous de mine, l'emploi de la Geosit 2 se traduit par une réduction du coût total des travaux de fragmentation. Par surcroît, la méthode rend le travail de concassage moins pénible.

Résumé de la revue.

C. ABATTAGE ET CHARGEMENT.

IND. **C 21** Fiche n° **55.710**

G. KIPPENBERGER. Gebirgsschonendes Abscherpsprengen in einem Gesenk der Zeche Hugo der Essener Steinkohlenbergwerke A.G. *Tir de pré-cisaillement, ménageant les terrains, dans un approfondissement de puits au Siège Hugo des Essener Steinkohlenbergwerke A.G.* — **Nobel Hefte,** 1970, Heft 3/4, mai/juillet, p. 133/138, 7 fig.

C'est en premier lieu dans le but de conserver la cohésion des bancs que l'on a introduit dans les charbonnages la technique de creuser les bures par forage de grands trous, et l'idée s'impose de perfectionner la technique classique, le creusement à l'aide d'explosifs, de manière à obtenir le même avantage. C'est dans ce but que l'on a essayé pour la première fois en Allemagne Occidentale la méthode du tir ménagé dans un bure. Quatre essais ont été faits, en partant d'un plan de tir carac-

térisé par le forage d'une file de trous serrés, non chargés, le long des contours désirés, pour s'approcher par étapes du schéma le plus efficace. Finalement, on a retenu pratiquement la méthode dite de pré-cisaillement. Les bons résultats sont d'autant plus intéressants qu'ils ont été obtenus avec des explosifs couche, l'emploi d'explosifs roche n'ayant pas été autorisé.

Résumé de la revue.

IND. **C 21** — Fiche n° **55.711**

H. MEERBACH. Versuche mit schonendem Sprengen beim Vortrieb einer Strecke mit kleinem Querschnitt. *Essais d'abattage avec tirs ménageant les terrains, lors d'un creusement de bouveau de faible section.* — **Nobel Hefte,** 1970, Heft 3/4, mai/juillet, p. 139/146, 22 fig.

Les auteurs ont fait des recherches sur la possibilité d'introduire aussi dans les charbonnages, en utilisant les explosifs agréés généralement connus, la technique du tir ménagé qui est d'usage normal dans les travaux de creusement de tunnels. Ils décrivent des essais entrepris dans une voie de section normale, mais relativement petite ($3{,}2\ m^2$) et dans une recoupe circulaire d'un diamètre de 70 cm. Une série d'illustrations représente les différentes étapes de ces essais qui ont prouvé que le tir ménagé est applicable avec succès, même dans des conditions difficiles. Les auteurs déclarent que le tir ménagé présente des avantages non seulement au point de vue économique, mais également sous l'aspect de la sécurité.

Résumé de la revue.

IND. **C 241** — Fiche n° **55.834**

X. Emploi de l'eau comme matériau de bourrage dans les pays de l'Europe de l'Ouest. — **Revue de l'Industrie Minérale,** 1970, juin, p. 427/438. **Explosivstoffe,** 1970, avril, p. 80/89. **Colliery Guardian,** 1970, mai, p. 247/253. **Annales des Mines de Belgique,** 1970, octobre, p. 1169/1187 (textes français et néerlandais).

Cet article a été rédigé en commun par des représentants des organismes qui effectuent des recherches relatives à la sécurité minière à savoir : 1) Berggewerkschaftliche Versuchsstrecke Dortmund-Derne et Versuchsgrubengesellschaft mbH. Dortmund pour la R.F.A. 2) Institut National des Industries Extractives (section de Pâturages) pour la Belgique. 3) Centre d'Etudes et Recherches des Charbonnages de France (Verneuil-en-Halatte). 4) Safety in Mines Research Establishment pour la grande-Bretagne. 5) N.V. Nederlandse Staatsmijnen (Heerlen) pour les Pays-Bas. Cette étude ne prétend pas donner des statistiques à jour ni exposer tous les travaux en cours au sujet de l'emploi des bourres à eau dans les charbonnages. En général pour chacun de ces pays, on donne : 1) Type de bourrage utilisé. 2) Méthode d'emploi. 3) Essais auxquels on a procédé. 4) Résultats observés relativement à la réduction de l'empoussiérage et à l'efficacité du bourrage à l'eau pour empêcher l'inflammation du grisou par les explosifs.

Biblio. 9 réf.

IND. **C 41** — Fiche n° **55.723**

G.A. GUPPY et B.N. WHITTACKER. Relationship between machine output and face conveyor capacity. *Relation existant entre la production de la machine d'abattage et la capacité du convoyeur de taille.* — **The Mining Engineer,** 1970, juillet, p. 598/615, 9 fig.

Les auteurs ont établi une méthode qui permet de déduire la capacité effective de transport en produits abattus des convoyeurs blindés de taille. Ils ont mis à l'épreuve la validité de cette approche semi-théorique au moyen d'observations faites au fond et d'essais effectués à la surface; ils ont pu ainsi réaliser des représentations graphiques satisfaisantes. Les diagrammes de la capacité d'un convoyeur ont été appliqués pour donner les débits au déchargement du convoyeur, pour différentes vitesses de celui-ci. Subséquemment le travail a été étendu en vue de trouver la relation existant entre la profondeur de coupe de l'abatteuse, ainsi que du débit instantané en produits abattus d'une part, et les vitesses respectives de l'abatteuse et du convoyeur, d'autre part, et ce, en sorte que les conditions de marche réalisant le chargement maximal du convoyeur puissent être choisies. A cet effet, on donne des graphiques et des tableaux à partir desquels on peut trouver rapidement et simplement les données du fonctionnement optimal des machines d'abattage et des convoyeurs d'usage courant au Royaume-Uni.

IND. **C 41** — Fiche n° **55.724**

R. TEALE. Some factors governing the rate output on a longwall face. *Quelques facteurs régissant la vitesse d'abattage dans une longue taille.* — **The Mining Engineer,** 1970, juillet, p. 616/634 (y compris discussion), 14 fig.

Le débit instantané en produits abattus par l'abatteuse ne peut excéder la capacité d'évacuation instantanée du convoyeur blindé de taille. S'il n'en est pas ainsi, la marche régulière de la taille ne peut qu'en être perturbée; aussi, d'une manière idéale, vise-t-on à harmoniser ces deux débits. La première partie de l'étude développe l'équation générale régissant une telle harmonisation, qui couvre toute la gamme des vitesses de l'abatteuse, tant à sa course montante qu'à celle descendante. A cet effet, l'auteur introduit le concept de la « coupe unitaire » (c'est-à-dire celle qui devrait charger un convoyeur de taille donné à sa capacité normale, dans une couche d'ouverture unitaire, le convoyeur étant à l'arrêt) qui doit néanmoins être modifié, d'une part, par un « facteur de coupe » (déduit du rapport des vitesses de l'abatteuse

couche effectivement abattue, pour donner finalement la profondeur maximale de coupe permissible dans chaque cas particulier. On reproduit des tableaux qui fournissent les valeurs des « coupes unitaires » et des graphiques qui donnent celles du « facteur de coupe ». L'auteur expose la méthode de calcul simple à laquelle les deux paramètres en question donnent lieu. La seconde partie de l'article établit les équations pour le débit de production général correspondant à diverses méthodes de travail en taille.

IND. **C 4215** Fiche n° **55.829**

F. PECHALAT et H. LATAPIE. Essais de réception des chaînes et équipages mobiles du fond. — **Charbonnages de France, Documents Techniques,** n° 3, 1970, Publication Cerchar n° 2034, p. 59/66, 2 fig.

Les Charbonnages de France ont mis au point une série de contrôles de réception destinés à éliminer les livraisons de chaînes — chaînes de rabots, haveuses, convoyeurs — ne satisfaisant pas aux critères fixés, et notamment à l'essai d'endurance. Deux machines pour les essais de traction ondulée ont été installées, l'une dans le bassin du Nord-Pas-de-Calais, l'autre à Verneuil dans les labos du Cerchar. Deux courtes notes décrivent les installations de Sin-le-Noble et de Verneuil, et leur utilisation.

Résumé de la revue.

IND. **C 4220** Fiche n° **55.748**

F. REMY. Contrôle rapide du fonctionnement d'une taille à rabot. — **Charbonnages de France, Documents Techniques,** n° 2, 1970, p. 33/41, 10 ill.

Cet article décrit une méthode de contrôle qui peut être appliquée par trois ou quatre ouvriers chronométreurs. Les enregistrements, reportés sur des imprimés dont on donne le modèle, sont les suivants : — le 1er ouvrier effectue au voisinage de la tête motrice de déversement : un chronométrage marche-arrêt du rabot, un pointage des arrivées du rabot, un enregistrement du ripage de la tête motrice. Le 2ème ouvrier effectue au voisinage de la tête motrice de renvoi : un pointage des arrivées du rabot, un enregistrement du ripage de la tête motrice, un enregistrement de la pression de la colonne H.P. des pousseurs (une mesure toutes les trente secondes). Le 3ème ouvrier parcourt la taille et relève l'état et l'utilisation de chaque pousseur. On établit des graphiques permettant de vérifier si — le rabotage se fait par longues passes, d'un bout à l'autre de la taille — les têtes motrices sont ripées de façon « continue » c'est-à-dire à chaque arrivée du rabot — la poussée en taille est régulière.

Résumé Cerchar, Paris.

IND. **C 4231** Fiche n° **55.790**

H. KOVACIC. Der Einsatz eines Doppelwalzenladers bei der W.T.K. *La mise en œuvre d'une abatteuse-chargeuse à deux tambours à la Wolfsegg-Traunthaler Kohlenwerk A.G.* — **Montan-Rundschau,** 1970, juin, p. 161/166, 5 fig.

Dans le cadre des efforts développés à la WTK. A.G. en vue d'une concentration plus poussée au chantier et, en particulier dans les longues tailles en plateure à abatteuse-chargeuse pour éliminer les niches d'extrémités de taille, l'auteur esquisse l'évolution chronologique jusqu'à la mise en œuvre de l'abatteuse-chargeuse Eickhoff. 260-L à 2 tambours. Il expose la méthode dite des « courses demi-taille » appliquée dans la couche Hinterschlagen. En conjonction avec l'abatteuse fonctionne un dispositif de nettoyage des plus simples, en forme de bouclier ou de soc de chargement, qui réalise ainsi un débit d'évacuation continu du charbon abattu. L'auteur décrit les expériences pratiques récoltées depuis la première mise en œuvre de la EDW.260-L, en décembre 1967, jusqu'à ce jour, c'est-à-dire correspondant au déhouillement de l'étage n° 3; il mentionne les perfectionnements successifs apportés à la machine originelle. Il met l'accent sur l'analyse des temps systématiques, effectuée au moyen d'un chronographe enregistreur. A partir des diagrammes ainsi relevés, il présente les résultats d'exploitation actuellement réalisés (5,8 t/HP de rendement chantier contre 3,6 t/HP avec la précédente EW 130 L). Comme soutènement mécanisé de la taille, on emploie des piles à 6 étançons système Gullick LH.606, construites par Becorit.

IND. **C 44** Fiche n° **55.721**

W. RUTSCHMANN. Einsatz von Streckenvortriebsmaschinen beim Bohren von Schrägschächten. *Mise en œuvre de machines à creuser les bouveaux lors du forage de puits inclinés.* — **Erzmetall** (Zeitschrift für Erzbergbau und Metallhüttenwesen), 1970, juin, p. 269/278, 12 fig.

Pour débuter, l'auteur caractérise les méthodes de creusement conventionnelles de puits inclinés effectué en montant et situe les principaux problèmes. Suivent l'exposé et la discussion des notions et des principes fondamentaux du creusement mécanisé par forage, à savoir : forabilité des roches, pénétration dans le massif, régime de rotation de la tête foreuse, champ d'application et économie du procédé etc. A titre illustratif et sous l'optique de la désagrégation de la roche, l'auteur décrit, commente et discute certains exemples de creusement typiques de bouveaux ou puits montants effectués au moyen des machines existantes ou en projet et qui forent en terrains de dureté et d'abrasivité différentes.

IND. **C 44** Fiche n° **55.841**

K. HAEGE. Die neue Calweld-Streckenvortriebsmaschine für Hartgestein. *La nouvelle machine Calweld à creuser les galeries en roches dures.* — **Glückauf**, 1970, 9 juillet, p. 700/702, 4 fig.

Depuis le milieu de l'année 1969 fonctionne, sans encombre, à la mine Climax (Colorado) une machine Calweld à forer des galeries au rocher (diamètre 4 m) en terrains durs (porphyre et granit). Avec la disposition et le nombre d'outils de coupe (molettes et disques de la firme Smith Industries) — que l'auteur décrit et commente — la machine serait capable d'opérer en terrains durs caractérisés par une résistance à l'écrasement de 2600 kg/cm². La tête foreuse est constituée de 2 parties — une centrale et une annulaire — qui tournent à des vitesses différentes, par réglage en continu de la vitesse de rotation des 6 moteurs hydrauliques Staffa de commande, à savoir : entre 0 et 10 tr/min pour la partie périphérique annulaire et entre 0 et 75 tr/min pour la partie centrale. La puissance totale installée au groupe motopompe hydraulique est de 8 × 75 KW. Quatre cylindres de poussée développent ensemble un effort axial de 510 t, tandis que 8 plaques d'appui mues par cylindres hydrauliques assurent le calage de la machine aux parois de la galerie forée. Poids total de la machine 84 t, longueur totale 10 m.

D. PRESSIONS ET MOUVEMENTS DE TERRAINS. SOUTENEMENT.

IND. **D 120** Fiche n° **55.801**

M. LANGE, F. REUTER, H. KADO et H.G. BORRMANN. Untersuchung der Beziehung zwischen verschiedenen physikalischen Kennzahlen von Lockergesteinen, eine Grundlage für eine moderne ingenieurgeologische Gesteinbeschreibung. *Etude des relations existant entre les diverses constantes physiques des roches meubles, comme base d'une description moderne des roches faite du point de vue de l'ingénieur géologue.* — **Bergakademie**, 1970, juin, p. 317/323, 9 fig.

Les auteurs étudièrent les relations existant entre les constantes physiques — vues sous l'optique de l'ingénieur géologue — des roches meubles ci-après : éluvions glaciaires, argile à intercalations étrangères, loess (limon), sédiments organiques et argileux. Les résultats de ces études montrèrent qu'il est possible, d'une part, de délimiter d'une manière satisfaisante chacune de ces roches par rapport aux autres et, d'autre part, de les décrire quantitativement avec suffisamment de précision pour satisfaire aux exigences formulées par les constructions de génie civil.

Biblio. 7 réf.

IND. **D 120** Fiche n° **55.871**

K.H.S. DESHWAR. Determining in situ rock strength. *La détermination sur place de la résistance des roches.* — **Engineering and Mining Journal**, 1970, mai, p. 84/85, 1 fig.

Protodyakonov a proposé une formule comparant les propriétés élastiques des roches massives avec celles des mêmes roches mesurées sur échantillons en laboratoire. L'application demande des mesures avec extensomètres hydrauliques-électriques installés dans des trous de sonde au toit et aux parois latérales de l'excavation souterraine et diverses autres mesures : espaces entre les principales discontinuités (joints, fractures), résistance sur échantillons en laboratoire. L'application de la formule fournit une valeur de la résistance de la roche massive qui paraît plus exacte et obtenue à moins de frais que par d'autres méthodes.

IND. **D 121** Fiche n° **55.739**

DZULYNSKI (Mlle). L'essai de compression simple de matériaux pierreux. Influence de l'élancement de l'éprouvette et du frettage sur les faces de compression. — **Université de Liège, Mémoires C.E.R.E.S.** (Centre d'Etudes, de Recherches et d'Essais Scientifiques du Génie Civil), 1969, novembre, p. 60/78, 7 fig.

L'étude a pour but d'analyser la valeur de l'essai de compression simple et sa signification selon les circonstances d'essai. En particulier, on a étudié l'influence de l'élancement de l'éprouvette et l'influence du frettage relatif entre les faces de compression de l'éprouvette et les plateaux de la machine à l'aide de diverses interpositions plus ou moins rigides. L'étude, limitée à un seul type d'éprouvette et un seul type de matériau, permet néanmoins de mettre en évidence la très grande importance du mode d'essai sur la valeur de la résistance en compression.

Biblio. 4 réf.

Résumé de la revue.

IND. **D 2223** Fiche n° **55.730**

L.J. THOMAS. Ripping and dinting roadways. Effects in the Blackshale Seam at Markham n° 1 Colliery. *Le bosseyement au toit et au mur, des voies. Effets constatés dans la couche Blackshale du Charbonnage de Markham n° 1.* — **Colliery Guardian**, 1970, juin, p. 291/299, 9 fig.

Le Charbonnage de Markham, dans le Derbyshire, a entrepris une série de recherches et mesures des mouvements de terrains autour des voies souterraines surtout pour préciser les effets des bosseyements. La profondeur se situe entre 427 et 488 m. Les instruments de mesure étaient, outre des boulons de toit, des cellules de charge de 100 t, des dynamomètres hydrauliques, des appareils de

mesure de la convergence dans les remblais. Les observations ont conduit à différentes conclusions, les bosseyements donnent lieu à une redistribution des pressions; en particulier, les bosseyements au mur augmentent la tendance de celui-ci à se soulever et soulagent la descente du toit. En même temps que ces mesures étaient effectuées au fond, on a fait, en laboratoire, des essais sur modèles en plâtre, qui ont conduit à des conclusions analogues. Il est évident que des observations de pressions de terrains, descente de toit, soulèvement de mur, séparation de bancs, déformations de cintres de soutènement, etc., telles que celles qui ont été rapportées à Markham, doivent être interprétées en tenant compte des conditions locales particulières, notamment de la constitution du toit et du mur, des exploitations voisines, etc.

IND. **D 2223** Fiche n° **55.749**

B. LALLEMENT. Etude du comportement d'une voie large boulonnée. — **Charbonnages de France, Documents Techniques,** n° 2, 1970, p. 43/50, 13 fig.

Le premier essai de boulonnage d'une voie creusée en grande largeur a été réalisé en 1968 aux H.B.L. Le soutènement est constitué par des boulons au toit, avec un soutènement de renforcement, posé au passage de la taille (prolongement du soutènement de taille c'est-à-dire étançons et rallonges) et après passage de la taille (pile de bois, étais de bois et épi de remblai pneumatique, réduisant la largeur de la voie à 3,5 m). Le laboratoire de mécanique des terrains de l'Ecole des Mines de Nancy (Cerchar) a analysé les déformations de cette voie, et le comportement du soutènement additionnel. Les convergences ont été normales. Les mouvements de mur ont été supérieurs à ceux du toit. Le fluage du pilier de charbon a été important. Dans l'ensemble le comportement du toit a été bon.

Résumé Cerchar, Paris.

IND. **D 47** Fiche n° **55.888**

D.P. ASHWIN, S.G. CAMPBELL, J.D. KIBBLE, J.D. HASKAYNE, J.F.A. MOORE et R. SHEPPERD. Some fundamental aspects of face powered support design. *Certains aspects fondamentaux de la conception et de la réalisation du soutènement mécanisé.* — **The Mining Engineer,** 1970, août, p. 659/674 (avec discussion), 5 fig.

Les auteurs passent en revue les différents aspects de la conception, de la construction et du fonctionnement des soutènements mécanisés destinés aux couches de charbon en plateures (minces, d'ouverture moyenne et puissantes) et en semi-dressants. Conjointement aux recommandations qu'ils formulent concernant la charge initiale à la pose de l'étançon, les charges coulissantes, la hauteur minimale à la pose, l'amplitude du coulissement et la course verticale des étançons hydrauliques, ils font part de la plupart des découvertes et observations faites par le Mining Research and Development Establishment. Chacun des chapitres est relatif à un aspect fondamental différent du plan des soutènements mécanisés et contient les recommandations qui s'y rattachent.

Biblio. 10 réf.

IND. **D 55** Fiche n° **55.889**

C. GORRIE et G. SCOTT. Some aspects of caving on powered support faces. *Certains aspects du foudroyage dans les tailles à soutènement mécanisé.* — **The Mining Engineer,** 1970, août, p. 677/691 (avec discussion), 12 fig.

Avec l'introduction généralisée des soutènements mécanisés, le foudroyage de l'arrière-taille est devenu un des éléments essentiels de la plupart des méthodes d'exploitation par longues tailles; ceci a donné naissance à des problèmes de contrôle de toit qui précédemment trouvaient leur solution par un système de remblayage. La présence de bancs rigides au toit de la couche de charbon fut reconnue comme la source principale des contraintes élevées à l'origine de la pré-fracturation du toit immédiat en avant du front de taille. Dans de telles conditions, pour réaliser un foudroyage effectif, on doit, soit provoquer la cassure du banc rigide au droit de la ligne d'étançons en bordure de l'arrière-taille, soit réaliser dans cette arrière-taille un soutènement du toit fracturé et cela à un stade précoce, c'est-à-dire le long du front de taille immédiatement après le déhouillement. Les auteurs étudièrent la question de la résistance escomptée de la part du soutènement et ils examinèrent certaines méthodes permettant de transmettre cette résistance, via les bancs fracturés du bas-toit, aux bancs rigides du haut-toit. La vitesse apparente de mise en charge des soutènements mécanisés et la détérioration physique observée dans certaines tailles où la vitesse d'avancement fut réduite sont des facteurs qui, dans des conditions de foudroyage différentes, exercent une influence similaire sur la méthode de travail de la taille.

Biblio. 2 réf.

IND. **D 63** Fiche n° **55.775**

R.S. HENDRICKS. Shotcrete gives stronger support at lower cost. *Le ciment projeté fournit un soutènement plus résistant et meilleur marché.* — **Mining Engineering,** 1970, mai, p. 69/73.

Le procédé du gunitage « Shotcrete » est employé sous deux formes : humide et sèche. Dans la forme humide, le mélange de mortier de ciment et d'eau se fait dans une chambre d'où l'air comprimé le projette par un flexible et une lance spéciale. Les éléments ne dépassent pas la grosseur de 9 mm. On y ajoute un accélérateur de prise appro-

prié et la couche appliquée ne doit pas dépasser 5 à 7 cm sur paroi verticale et 2 cm au toit. La perte par rebondissement et l'adhérence sur paroi humide sont peu satisfaisantes. Dans la forme sèche, le mélange du mortier avec l'eau ne s'opère que dans la lance, tuyère construite à cet effet. Les éléments peuvent atteindre 18 mm et l'accélérateur est ordinairement l'aluminate de soude. Les pertes sont moindres et l'adhérence meilleure, en couche plus épaisse, couramment 15 cm en une passe. Par contre, le problème des poussières se pose. L'article cite des applications faites à la Hecla Mining Co dans l'Arizona où le procédé est couramment employé dans le soutènement. Des éléments de prix de revient complètent la documentation. Les distances auxquelles le mortier peut être projeté sont de l'ordre de 60 m horizontalement, moindres dans la projection verticale dans laquelle une certaine ségrégation des éléments peut se produire.

E. TRANSPORTS SOUTERRAINS.

IND. **E 122** Fiche n° **55.839**

W. SCHAEFER. Welche Antriebsleistung wird am Kettenkratzerförderer benötigt? *La puissance nécessaire à l'entraînement des convoyeurs à chaînes à raclettes.* — **Glückauf,** 1970, 9 juillet, p. 690/695, 12 fig.

Au cours des dernières années, on a observé une augmentation significative de la puissance installée aux têtes motrices; celle-ci résulte de l'accroissement constant de la concentration d'exploitation sur des tailles à grosse production. Cependant dans bien des cas particuliers, on observe qu'on n'a pas toujours cherché à limiter les puissances par un épuisement rationnel de toutes les possibilités techniques disponibles. La répartition la plus favorable de l'effort de traction des chaînes est réalisée lorsque l'effort de traction du brin supérieur est développé par la tête motrice principale et l'effort de traction du brin inférieur par la tête motrice auxiliaire. Selon les conditions existant dans la pratique, on ne parvient à transmettre aux chaînes que de 35 à 75 % de la puissance totale installée. La plus grande perte d'énergie survient actuellement lors de la transmission de l'effort de la noix à empreintes aux chaînes et surtout lorsqu'un engrènement non correct n'est pas réalisé. Ce dernier facteur est décisif pour la longévité des chaînes. Si pour l'évacuation des produits on doit disposer d'une grande section transversale de couloir, on peut sensiblement réduire la puissance motrice nécessaire, en choisissant un convoyeur de type large. Le coefficient de résistance au frottement du brin inférieur dépend de la quantité de fines accumulées sur le mur. Il s'est avéré avantageux de porter à 0,6 m/s la différence des vitesses du rabot et du convoyeur. L'alignement du convoyeur est également très important pour la longévité des chaînes. Il y a doublement de l'effort de traction des chaînes d'un convoyeur rectiligne lorsque, par suite d'une disposition en S, il se forme un angle de 4° entre les 2 couloirs adjacents ou qu'un arc polygonal existe sur les 40 m contigus à la tête motrice principale. En pareil cas, il faut disposer de la même puissance pour vaincre les résistances de frottement que pour assurer la marche d'un convoyeur de 200 m correctement aligné. Les expériences ont confirmé qu'il était possible d'augmenter la durée de service des chaînes en réduisant la capacité qu'ont les couloirs contigus de former un angle entre eux (rigidité de l'assemblage) et simultanément de diminuer la fréquence des bris de maillons et de raccords de chaînes. Actuellement, la plupart des ruptures sont la conséquence de criques qui surviennent après la formation de martensite de frottement dans les parties courbes de convoyeurs.

Biblio. 9 réf.

F. AERAGE. ECLAIRAGE. HYGIENE DU FOND.

IND. **F 22** Fiche n° **55.830**

A. REINHARD. Le contrôle automatique du grisou résolu par le central universel CTT. 63-40. Possibilités. Modes d'utilisation. Avantages techniques et économiques. — **Charbonnages de France, Documents Techniques,** 1970, n° 3, p. 67/76, 5 fig.

Après avoir rappelé rapidement l'évolution de la technique de la télégrisoumétrie, et les travaux du Cerchar dans ce domaine, l'auteur expose les possibilités pratiques mises à la disposition des exploitants par les centraux de télégrisoumétrie. L'étude des résultats de mesures fournies par ces centraux a permis d'aboutir à deux conclusions importantes : une méthode de prévision du dégagement grisouteux moyen d'une veine au cours de son exploitation, et les écarts de teneur par rapport à celle qui résulterait du dégagement moyen. On a ainsi les éléments pour prévoir l'aérage des chantiers. L'auteur fait ressortir les conséquences économiques importantes qui en résultent, en particulier, la concentration des chantiers et la possibilité d'obtenir des dérogations de l'Administration des Mines.

Biblio. 9 réf.

Résumé de la revue.

IND. **F 21** Fiche n° **56.002**

SAFETY IN MINES RESEARCH ESTABLISHMENT. Safety in mines research 1969. *La recherche en matière de sécurité minière en 1969. « Gisement de grisou en*

nappes stratifiées ». — **48th Annual Report of the S.M.R.E.**, London, Her Majesty's Stationery Office, 1970, p. 16, 1 fig.

Chapitre du rapport annuel, consacré aux aspects ci-après des nappes stationnaires de grisou au toit. 1) Formation et structure des strates de grisou au toit. Etude de l'écoulement du grisou, au voisinage de la source de celui-ci, dans une galerie minière. Effet de la géométrie de la source sur le mélange initial et du développement subséquent des nappes de grisou au toit. Confirmation du point de vue exprimé par Bakke et Keach dès 1960, à savoir que la longueur d'une nappe de méthane ne devrait pas être utilisée comme paramètre sur lequel se fonde l'action de remède. 2) Propagation de la flamme dans les nappes stratifiées; essais en galerie expérimentale de 92 m de longueur et 1,20 m de Ø.

IND. **F 22** Fiche n° **56.001**

SAFETY IN MINES RESEARCH ESTABLISHMENT. Safety in mines research 1969. *La recherche en matière de sécurité minière en 1969. « Détection des gaz de la mine ».* — **48th Annual Report of the S.M.R.E.**, London, Her Majesty's Stationery Office, 1970, p. 13/16, 3 fig.

Chapitre du rapport annuel, consacré aux sujets ci-après. *Grisoumétrie.* 1) Discussion des mesures effectuées par les inspecteurs des mines dans les tailles, les voies d'exploitation et au voisinage des abatteuses à tambour en fonctionnement, à l'aide des méthanomètres enregistreurs à tête sensible, mis au point par le S.M.R.E. et dont 6 ont été construits à ce jour. 2) Epreuves de grisoumètres (la plupart étant à analyseur à infra-rouge, d'un type à diffusion et d'un grisoumètre-enregistreur, portatif mis au point par le S.M.R.E.). 3) Epreuves de lampes à flamme. *Gaz NO2.* Construction et mise au point d'un appareil de laboratoire destiné à produire de faibles concentrations standards de NO2 dans l'air.

IND. **F 440** Fiche n° **55.854**

D.P. SCHLICK et R.G. PELUSO. Respirable dust sampling requirements under the federal coal mine Health and Safety Act of 1969. *Exigences formulées par l'« Arrêté fédéral pour la sécurité et la salubrité dans les charbonnages » concernant le prélèvement des poussières respirables.* — **U.S. Bureau of Mines, I.C. 8484**, 1970, juillet, 35 p., 1 fig.

Les prescriptions de l'Arrêté Fédéral de 1969 sur la sécurité et la salubrité dans les charbonnages et relatives aux poussières respirables ont été établies en vue de protéger la ressource la plus importante de l'industrie charbonnière, à savoir les travailleurs. Cet Arrêté impose graduellement 2 normes de teneur en poussières qu'on ne peut dépasser : 3 mg/m^3 après le 30 juin 1970 et 2 mg/m^3 après le 30 décembre 1972. D'après les règlements fédéraux, chaque opération du chantier doit se conformer à un programme de prélèvements de poussière, établi par les Secrétaires de l'Intérieur et à la « Santé, Hygiène et Bien-être ». Ce programme contraint les entreprises à procéder à un échantillonnage des ouvriers travaillant en tailles à « risque élevé » et à veiller à ce que l'exposition de chacun de ces ouvriers se maintienne au-dessous des normes de poussières fixées. En plus de cette obligation établie par les règlements, les Inspecteurs du Bureau of Mines procèdent, quand bon leur semble, deux fois l'an, à des descentes aux sièges. Le Bureau of Mines a mis sur pied un centre de calcul semi-automatique capable de traiter un million d'échantillons par an. L'organisation des transmissions y est telle que les différents départements intéressés du Bureau of Mines peuvent disposer des cédules imprimées automatiquement quelques heures seulement après la pesée des échantillons de poussière.

G. EPUISEMENT

IND. **G 12** Fiche n° **55.887**

H. SAUL. Current mine drainage problems. *Problèmes courants d'exhaure de mine.* — **The Mining Engineer**, 1970, août, p. 643/657 (avec discussion), 7 fig. **Institution of Mining and Metallurgy**, Bulletin 764, Section A, 1970, juillet, p. A63/A80, 7 fig.

L'auteur décrit d'abord l'essence et la nature des problèmes d'exhaure courants qui se posent aux charbonnages exploitant sous la mer. Il met en évidence l'effet des fermetures de puits et il expose les difficultés que subissent les voies et tailles du fond comme suite à la modernisation des méthodes d'exploitation. Après une brève note sur l'incidence générale des eaux sur les formations du Houiller, l'auteur traite en particulier des problèmes qui en résultent dans le gisement sous-marin du Durham S-E. Il discute la théorie de la présence d'une « mer souterraine » à la base du Permien et il décrit les tests par forage creusés à partir de la surface. Il mentionne certains exemples de tailles où on provoque une action de détente de la pression des eaux par trous de sonde forés au-dessus de l'arrière-taille et où le tassement (compactage) des remblais de l'arrière-taille amène une diminution subséquente de la section de passage des voies d'eau. Il donne un compte rendu du travail déjà en cours aux charbonnages de Horden et de Blackhall; tous deux étudient l'effet sur les ouvrages de largeur moyenne, des fractures d'affaissement multicouches qui coïncident et de la séparation permanente (décollement de bancs) qui

s'opère au contact Permien-Carbonifère ou au voisinage de celui-ci.
Biblio. 4 réf.

H. ENERGIE.

IND. **H 502** — Fiche n° **55.738I**

D. GATESHILL. Development and application of 1100 volts at the coal face. *Développement et application de 1100 volts au front de taille.* — **Mining Technology**, 1970, juin, p. 17/19, 1 fig.

L'introduction du voltage de 1100 au charbonnage de Wearmouth dans le Nord Durham fait l'objet de cet article. On rappelle les débuts de l'utilisation de l'électricité dans les mines anglaises, les avantages du courant alternatif triphasé sur le courant continu, l'évolution vers les voltages élevés. Actuellement en Grande-Bretagne, on limite le voltage à 650 volts pour les appareils portatifs, les moteurs de moins de 20 cv et les pièces rotatives de tous appareils. Des voltages standards ont été adoptés pour les diverses applications de surface et souterraines et le voltage de 1100 a été introduit au front de taille. Les charbonnages de Lorraine avaient déjà montré la voie il y a quelques années. A Wearmouth, l'application a été faite à une exploitation par rabots de 1000 cv; deux moteurs de 120 cv pour le rabot, deux moteurs de 120 cv pour le convoyeur blindé; deux moteurs de chargeuses de 90 cv, convoyeurs et divers. Différents problèmes se sont posés pour cette installation dont on expose les particularités et la solution.

IND. **H 541** — Fiche n° **55.719**

J. WIECZOREK. Einsatz von leistungsstarken Käfigläufermotoren für den Antrieb von Bandanlagen. *Mise en œuvre de moteurs électriques à cage d'écureuil de grande puissance pour la commande des transporteurs à bande.* — **Bergbautechnik**, 1970, juin, p. 297/302, 16 fig.

A l'heure actuelle, en Pologne, une activité intense est consacrée au développement de têtes motrices puissantes pour longs transporteurs à bande de grande largeur, en particulier en vue d'aboutir à une simplification de la construction, à une réduction du prix et à sécurité de fonctionnement accrue. On essaie, entre autres, d'utiliser des moteurs asynchrones à cage d'écureuil (rotor en court-circuit) de puissance accrue, qui présentent une courbe caractéristique du couple assez plate et une plus grande résistance thermique du rotor, sans adjoindre de dispositif pour le démarrage. L'auteur mentionne les résultats détaillés de mesures relatifs à de nombreux essais effectués avec de tels moteurs installés aux têtes motrices des transporteurs à bande. En raison des résultats satisfaisants obtenus avec un moteur à cage d'écureuil de 320 kW, on se propose subséquemment d'en essayer un de 630 kW.
Biblio. 10 réf.

IND. **H 9** — Fiche n° **55.741**

M. GRENON. Dix ans de recherches en magnétohydrodynamique. — **Science, Progrès, Découverte**, n° 3421, 1970, mai, p. 39/49, 9 fig.

Pour faire face aux besoins croissants en énergie de la civilisation industrielle, les techniciens recherchent ou bien de nouveaux types de combustibles, comme l'uranium qui est à l'origine du développement de l'énergie électronucléaire, ou bien de meilleurs moyens de transformation de l'énergie chimique des combustibles fossiles en électricité utilisable. Au début des années 1960, un grand espoir fut fondé sur la magnétohydrodynamique — MHD — procédé de conversion directe de la chaleur en électricité présentant le triple avantage de permettre des rendements supérieurs à 50 %, de ne nécessiter aucune machine tournante, et de n'imposer en conséquence pratiquement pas de limitation de taille. D'importants programmes de recherche furent lancés un peu partout dans le monde, et particulièrement en France par l'Electricité de France, la Compagnie Générale d'Electricité, l'Institut Français du Pétrole et le Commissariat à l'Energie Atomique. Il convient d'ailleurs de signaler que, dans l'esprit des responsables, la MHD n'était pas le « moyen ultime », mais qu'elle devait jouer un rôle important durant le « créneau temporel » prévu entre le thermique classique et le nucléaire impatiemment attendu. Or, après quelque dix ans d'efforts et de résultats méritoires, sinon tous prometteurs, la MHD a été discrètement abandonnée; et ce, sans que le nucléaire ait à proprement parler triomphé, en France en tout cas.
Résumé de la revue.

Y. CONSTITUTION, PROPRIETES ET ANALYSE DES COMBUSTIBLES SOLIDES FOSSILES.

IND. **Y 21** — Fiche n° **55.832**

R. BUSSO, B. BOUCHEZ, M. WAES et B. ALPERN. Qualification automatique du rang des charbons cokéfiants par le système Reflex à réflectance globale (P.R.G.). — **Revue de l'Industrie Minérale**, 1970, juin, p. 404/414, 12 fig.

I. Définition du test P.R.G. II. Description de l'appareil Reflex. III. Prévision de la qualité du coke. Généralités. IV. Application de la méthode à des problèmes pratiques. V. Limite de validité du test P.R.G. *Conclusion :* Le domaine pratique d'utilisation du système Reflex actuel est la coke-

rie ou le lavoir qui traitent des charbons situés entre 19 et 38 % de MV sur pur. Dans ce domaine, le système qualifie les charbons sans ambiguïté : la corrélation avec la qualité du coke est satisfaisante tant en ce qui concerne la résistance à la fissuration (but initial de la méthode) qu'en ce qui concerne le M 10, comme l'ont montré les expérimentations faites en fours de 400 kg. L'application du système est particulièrement aisée et efficace dans le domaine de rang s'étendant de 30 à 38 % de MV. L'efficacité du système utilisé pour le triage des charbons augmentera avec le degré de « pureté » des charbons. Dans tous les cas, la prévision ou la régularisation de la qualité du coke reposeront sur la corrélation entre l'information (PRG) et la qualité considérée du coke, corrélation établie de préférence à l'aide de fours de 400 kg, en opérant dans des conditions de fabrication très voisines de celles de la cokerie.

Biblio. 4 réf.

Résumé de la revue.

J. AUTRES DEPENDANCES DE SURFACE

IND. J 17 Fiche n° **55.873**

A.W. JENIKE et J.R. JOHANSON. Review of the principles of flow of bulk solids. *Revue des principes de l'écoulement des matériaux solides.* — **Canadian Mining and Metallurgical Bulletin,** 1970, juin, p. 677/682, 12 fig.

Un matériau solide s'écoule d'une trémie pourvu que l'orifice de sortie soit suffisamment grand pour que des obstructions ne se produisent pas. La géométrie et l'état de la surface de la trémie ainsi que la conception de son orifice conditionnent le mode d'écoulement. La conception de la trémie, à son tour, conditionne l'uniformité et la consistance de l'écoulement, l'agglomération, la dégradation, la capacité et l'action des dispositifs de vérification du niveau. Dans maintes trémies actuelles, le matériau s'écoule vers la sortie par un chenal qui se forme dans la masse stationnaire. L'écoulement prend une forme d'entonnoir. Si le cône de sortie est assez incliné et lisse et l'orifice capable de donner issue par toute sa section, tout le matériau solide s'écoulera : c'est ce qu'on appelle un écoulement en masse. Les trémies qui permettent un tel écoulement sont généralement très supérieures à celles qui donnent lieu à un écoulement du type entonnoir; leur prix est généralement plus élevé. L'article décrit les caractéristiques de construction utilisées dans la détermination de l'orifice de sortie des trémies et de la géométrie nécessaire à l'écoulement en masse.

IND. J 18 Fiche n° **55.768**

D.A. HALL, N.J. IVISON et C. SPROSON. Pneumatic transport of coal from lorries. *Transport pneumatique de charbon à partir de camions ou trucks.* — **Journal of the Institute of Fuel,** 1970, juillet, p. 243/247, 3 fig.

Bien qu'un chariot spécial équipé d'un souffleur ait été utilisé depuis un certain temps déjà à la Division Durham pour délivrer pneumatiquement le charbon à la chaudière, on ne dispose encore à ce jour que de peu de données sur les performances d'un tel engin de transport. Il importerait dès lors de procéder à des essais sur ce dernier — muni d'une tuyauterie de transport de 152,5 mm de diamètre — afin d'en déterminer : 1) le débit distribué en différents calibres de charbon, 2) le pourcentage de bris causé par le transport, 3) les pertes de charge dans les tuyauteries verticales et horizontales et dans les courbes. Les auteurs montrent que le chariot avec souffleur mécaniquement couplé donne les meilleures performances avec des grains (15 à 30 mm de diamètre) débités à raison de 15 t/h; un chariot hydrauliquement couplé s'avéra moins satisfaisant que le précédent. Avec des calibres plus petits, le débit fut moindre et ce, à cause de leur teneur en humidité et de leur pourcentage en fines. Dans un tel système se produit une dégradation granulométrique relativement élevée et le pourcentage des classés brisés, dans l'équipement, en fragments inférieurs à 15 mm, atteignit 15 %. Les mesures des pertes de pression et des coefficients de frottement ont permis de procéder à des essais de calcul des performances optimales du chariot, à souffleur d'air; les résultats récoltés à ce jour ne manqueront pas de servir pour concevoir et réaliser les schémas futurs d'un tel mode d'alimentation des chaudières. Toutefois, un travail sur des installations différant entre elles par les proportions s'avère nécessaire pour confirmer les résultats.

Biblio. 4 réf.

IND. J 6 Fiche n° **55.797**

E. UBAGHS. L'an 2000 verra-t-il la fin de l'humanité par pénurie d'eau douce et d'oxygène ou par indigestion de CO_2. — **Energie,** n° 190/191, 1970, 1er et 2me trimestres, p. 1/7, 6 fig.

L'auteur fait un exposé objectif sur la question de la pollution de l'eau et de l'atmosphère et fait le point de la situation. Dans le cadre de cette année dédiée à la « Conservation de la Nature », il fait le départage entre les articles de propagande et ceux de caractère scientifique. Si les premiers sont souvent pessimistes, au point de sombrer dans le désespoir, il n'est pas moins vrai que l'on se trouve devant un problème crucial auquel on a songé avec retard, ce qui impose la recherche de solutions immédiates. De tout temps, l'homme s'est imaginé que les ressources de la nature étaient inépuisables. Comment pouvait-on concevoir que

l'on pourrait continuer sans inconvénient à déverser chaque année dans l'atmosphère 18 milliards de tonnes de CO_2 et ce, suivant un accroissement exponentiel. Aux Etats-Unis, le Président Nixon institue un Centre écologique chargé d'étudier la question de l'environnement pour l'ensemble des Etats. Pourquoi n'agirait-on pas de même pour l'Europe ? Après avoir éveillé l'inquiétude, il serait temps de ramener la confiance en montrant que l'on s'organise et que l'on ne se fie plus au hasard.

K. CARBONISATION.

IND. **K 10** Fiche n° **55.831**

F. FOCH et R. MARCELLINI. Rapport sur l'activité de la Station expérimentale de Marienau en 1968. — **Charbonnages de France, Note Technique** 1/70. **Revue de l'Industrie Minérale,** 1970, juin, p. 381/403, 17 fig.

I. Equipement de la Station. II. Etudes en relation avec la production du coke dans le four à coke classique. II.1. Production de coke calibré : II.1.1. Comparaison de divers types de concasseurs industriels. II.1.2. Etude d'une cas pratique de fabrication de coke calibré. II.2. Carbonisation à très haute température. II.2.1. Essais d'orientation. II.2.2 Etude de la stabilisation thermique. II.3. Essais sur les cokes. 11.3.1. Influence du nombre de va-et-vient lors du criblage mécanique du coke après essai au tambour. II.3.2. Influence de l'humidité du coke sur les résultats donnés par les tests MICUM et IRSID. II.4. Etude sur la poussée. II.4.1. Essais sur le four de 20 kg. II.4.2. Essais sur le four cylindrique. II.5. Enfournement sec simplifié et enfournement préchauffé. II.5.1. Etude de l'implantation d'un pilote d'enfournement sec simplifié à la cokerie d'Hagondange. II.5.2. Etude de l'enfournement préchauffé. III. Autres études. III.1. Production de coke par un procédé continu. III.2. Développement des techniques de fluidisation. III.2.1. Séchage. III.2.2. Incinération des boues d'épuration.

Biblio. 6 réf.

IND. **K 113** Fiche n° **55.770**

M. GOMEZ et K. HAZEN. Prediction of coke strength and carbonization products yields from exploration data. *Prédiction de la résistance du coke et des rendements en produits de carbonisation à partir de données d'exploration.* — **U.S. Bureau of Mines, R.I. n° 7399,** 1970, juillet, 37 p., 6 fig.

Les auteurs présentent des équations de prédiction pour 12 variables qu'ils jugent capables de caractériser la qualité métallurgique d'un charbon à coke : 6 de ces variables sont relatives à la résistance mécanique du coke et 6 ont trait aux rendements en produits de la carbonisation. Toutes ces variables sont pronostiquées pour des charbons dont la teneur en matières volatiles (MV) est comprise entre 16,3 et 42,1 %, humidité corrigée. Les équations de prédiction, développées par des techniques de statistique mathématique, furent basées sur des informations provenant : a) d'analyses immédiates et ultimes, b) de la composition granulométrique, c) de la composition pétrographique de charbons bitumineux carbonisés dans des cornues BM-AGA, respectivement à 800, 900 et 1000° C. Les auteurs éprouvèrent la validité des équations au moyen de données indépendantes dérivées de la carbonisation à 900° C de 33 mélanges binaires de divers charbons et de 22 mélanges binaires de charbon bitumineux de la couche Pocahontas n° 3 (à faible teneur en MV) avec 11 autres charbons bitumineux à haute teneur en MV. Les résultats montrent qu'il est possible de prédire la qualité métallurgique d'un charbon tout-venant à condition que les données utilisées pour déduire les équations de prédiction puissent être obtenues au moment de la reconnaissance. L'aptitude à prévoir la qualité d'un charbon est utile dans les plannings d'exploitation et peut donner des informations fondamentales pour l'optimisation des techniques de mélange et de broyage et de la sorte conduire à la production d'un coke uniforme.

Biblio. 49 réf.

P. MAIN-D'ŒUVRE. SANTE. SECURITE.

IND. **P 32** Fiche n° **55.843**

H. SCHRAER. Versuche mit neuen Leistungslohnformen im Bergbau. *Essai de nouvelles formes de salaires au rendement dans les mines.* — **Glückauf,** 1970, 9 juillet, p. 709/715, 4 fig.

1. Modifications intervenues, dans les charbonnages de la République Fédérale, dans les relations existant entre résultats du travail, effort humain, rendement homme-poste et salaires. 2. Le prix de tâche à salaire de base comme nouveau système de rémunération des prestations, à la production dans les charbonnages : a) salaire uniforme pour tous les ouvriers; b) salaires uniformes dans chacune des catégories d'activités (6 groupes). 3. Rémunération en fonction du temps mis pour réaliser un mètre d'avancement du front de taille. 4. La formule mixte, c'est-à-dire partie fixe (ou base) et partie mobile fonction du rendement obtenu, pour les salaires journaliers. 5. Questions juridiques relatives au salaire mixte.

IND. **Q 1103** Fiche n° **55.837**

W.J. WOLFBAUER. Die Deckungsbeitragsrechnung, ein Instrument zur Unternehmensführung. *Le calcul de la contribution à la couverture des dépenses, un instrument de gestion de l'entreprise.* — **Berg- und Hüttenmännische Monatshefte,** 1970, avril, p. 74/78, 5 fig.

Le calcul de la contribution à la couverture des dépenses est un mode de calcul qui procède par parties. C'est un système d'établissement des coûts de revient et des rendements qui résultent sans codification des dépenses communes et en réalité sans proportionnalisation des dépenses fixes. On obtient par là une image correcte des sources des résultats et des bénéfices de l'entreprise. Si on supprime la codification des dépensess communes, le calcul des coûts de revient en devient plus simple, moins coûteux, plus rapide et plus proche du présent (c'est-à-dire mieux actualisé). L'avantage essentiel réside toutefois dans l'établissement et la pondération des sources des résultats et des profits relativement élevés d'une exploitation. Une telle façon d'opérer favorise la prise de décisions correctes, lors de la composition des programmes de production, à l'aide de fonctions de planification à long terme, d'une part, et de fonctions « articulées ou d'adaptation » à court terme, d'autre part. De même, compte tenu des conditions qui règnent aux « goulots d'étranglement », il est possible de prendre des décisions en vue de conformer optimalement le programme aux profits escomptés. On peut également doser les divers investissements pour la rationalisation et pour l'extension de l'entreprise, en vue d'une rentabilité accrue.

Biblio. 13 réf.

IND. **Q 1162** Fiche n° **55.774**

R. SISSELMAN. Rowland — a workable approach to mining coal. *Rowland — une exploitation de charbon adaptée aux conditions locales.* — **Mining Engineering,** 1970, mai, p. 65/68, 7 fig.

La mine de Rowland de la Consolidation Coal C° en Virginie Occidentale a mis en exploitation un gisement évalué à 100 Mio.t. La production est de 1,5 Mio.t/an. Le pays est très vallonné et plusieurs couches se superposent à partir de la surface, exploitées par 3 méthodes différentes : à ciel ouvert, avec tarières et enfin souterraine, selon les circonstances de lieu. A ciel ouvert, on emploie des foreuses verticales mobiles forant des trous de 23 cm chargés d'explosifs NA-FO pour l'enlèvement du découvert qui a, en moyenne, 12 m. L'enlèvement se fait par dozers, chargeuses frontales et camions de 72 t. Les tarières pénètrent à flanc de colline jusqu'à 54 m et extraient 35 à 40 % de la couche. L'exploitation souterraine se fait avec explosifs par courtes tailles, chantiers limités ne donnant que 30 % de la production totale. Une installation de préparation comprend la séparation par liquides denses, combinée avec flottation et cyclones. Elle produit 425 t/h de charbon à 5 et 5,5 % de cendres, 0,8 % de soufre et 5 % d'humidité. Le charbon est transporté par rail à 18 km pour usage métallurgique.

IND. **Q 130** Fiche n° **55.696**

E. BOUDET. Perspectives de la production de cuivre du monde occidental. — **Annales des Mines** (France), 1970, mai, p. 41/58, 1 tabl.

Suivant M. Georges B. Munroe, président de la Phelps Dodge, la production minière de cuivre du monde occidental passerait de 5.260.000 t/an au 1er janvier 1970 à 6.963.000 t fin 1973 (+ 32 %), — soit un taux de croissance de 7,8 % par an supérieur au taux de croissance moyenne de 4,3 % des périodes antérieures. Il nous a paru intéressant de compléter les indications du tableau par une revue rapide des projets en cours, concernant aussi bien une augmentation de production des mines en activité que les nouvelles productions attendues de la mise en valeur de nouveaux gisements. Les tonnages que nous trouvons pour les capacités de production ne correspondent pas toujours aux chiffres indiqués au tableau I, mais paraissent s'en rapprocher avec une approximation suffisante.

Résumé de la revue.

R. RECHERCHES. DOCUMENTATION.

IND. **R 124** Fiche n° **55.883**

A. STEFFENHAGEN. Versuchsgrube Tremonia im Dienste der Sicherheit. *La mine expérimentale Tremonia au service de la sécurité.* — **Bergfreiheit,** 1970, juillet, p. 159/165, 8 fig.

Rapport de synthèse faisant le point des principales activités de recherche en cours ou récemment achevées à Tremonia et exposé des grandes lignes du programme des travaux futurs. L'auteur les présente dans les chapitres intitulés comme suit : 1. Nouveaux travaux de recherche prévus. 2. Barrage d'extinction avec détecteurs. 3. Nouveaux types d'explosifs à l'essai. 4. Incursion dans le domaine du danger des incendies au fond. 5. Construction, en sécurité, de barrages de voies. 6. Essais et épreuves de dispositifs mécaniques.

IND. **R 126** Fiche n° **55.885**

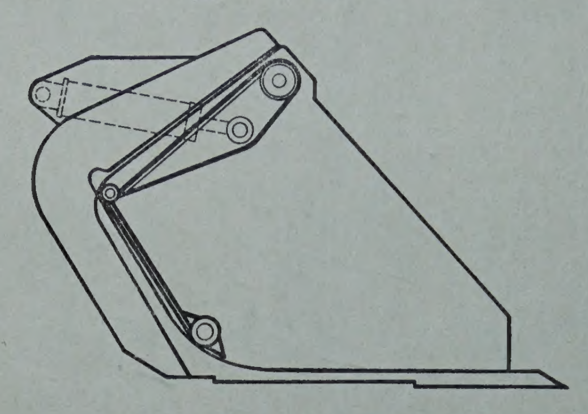
J.D. SPENCER. Review of Bureau of Mines coal program 1969. *Revue du programme « charbon » 1969 du Bureau of Mines.* — **U.S. Bureau of Mines, I.C. n° 8479,** 1970, juillet, 106 p., 50 fig.

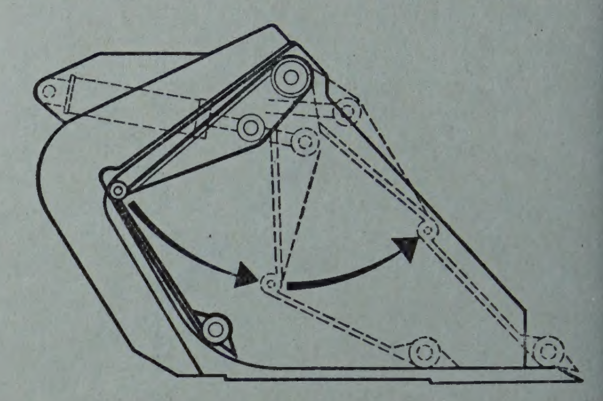
Rapport de synthèse faisant le point sur les principales activités. 1.*Environnement :* Reconversion des sites miniers et remise en culture. Contrôle des eaux de mines (lutte contre la pollution des cours d'eau). Extinction des feux de terril. Lutte contre les empoussiérages de la surface (cendres volantes). Désulfuration du charbon. Réduction et dépoussiérage des fumées et élimination des polluants gazeux. 2. *Exploitation du charbon.* Longue taille. Contrôle du méthane. 3. *Sécurité, salubrité, hygiè-*

ne du travail. Inspection du travail. Prévention des accidents. Contrôle du toit. Contrôle de l'atmosphère de la mine (méthane, poussières). Ventilation. 4. *Explosions et explosifs.* Explosions et inflammations de méthane. Coups de poussières. Extinction des feux et des explosions (barrages et autres mesures). Explosifs (de sécurité et admis). 5. *Stockage du charbon, préparation mécanique, transport :* Séchage, épuration, caractéristiques de lavabilité. Méthodes d'épuration (par milieu dense, flottation). Contrôle de qualité des produits. Transport du charbon par pipes. 6. *Production d'électricité à partir du charbon.* Générateurs de vapeur. Etude de la combustion de charbon pulvérisé. Recherche de la combustion en lit fluidisé. Génération M-H.D. 7. *Coke, semi-coke et produits chimiques provenant de la cokéfaction du charbon.* 8. *Combustibles et produits chimiques résultant de méthodes de synthèse à partir du charbon.* (production de gaz et d'essence synthétique, hydrogénation). 9. *Nouveaux produits du charbon.* (Noir animal et engrais). 10. *Structure du charbon et de ses dérivés.* 11. *Carbochimie.* 12. *Méthodes d'analyses et d'épreuves.* 13. *Echantillonnage et analyse.* 14. *Activités internationales.*

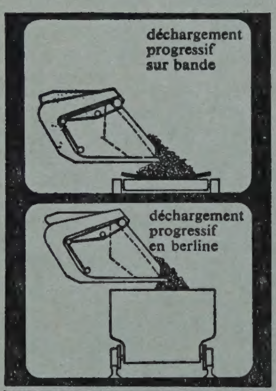
Biblio. 48 réf.

Sur votre scooptram Wagner un godet à lame pousseuse... quel intérêt ???





Gagner du temps et de la hauteur en contrôlant le déchargement.



Sur bande

1. Décharger six tonnes de minerai sur une bande pose un problème. Les gros blocs poinçonnen la bande et souvent l'endommagent.

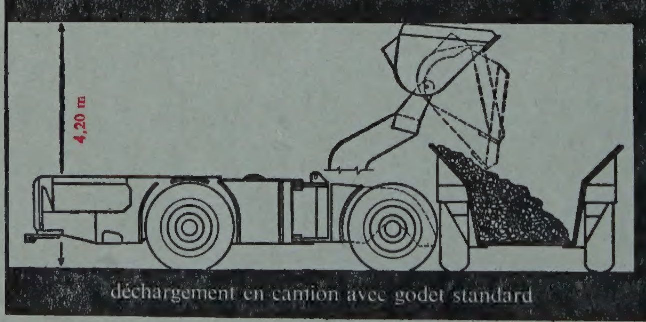
En berline

2. Décharger un godet de six tonnes dans une berline dont la capacité n'est pas un multiple d la capacité du godet, pose un autre problème : remplir une berline de huit tonnes avec un gode de six tonnes fait perdre du temps à votre SCOOPTRAM et diminue son rendement.

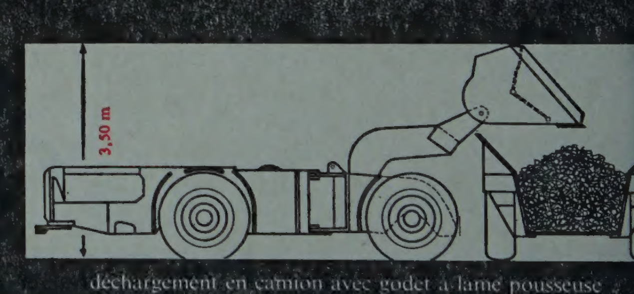
En camion

3. Charger avec un SCOOPTRAM présente des difficultés si ce dernier est équipé de son god standard, celui-ci ne permettant pas une bonne répartition du minerai dans la caisse du camio

Le godet à lame pousseuse apporte une solution à tous ces cas particuliers de déchargemen De plus, et dans tous les cas, il fait gagner de la hauteur, n'ayant pas à pivoter autour de son poi d'attache pour se déverser, il permet donc un déchargement dans des galeries moins puissante



déchargement en camion avec godet standard



déchargement en camion avec godet à lame pousseuse



38 RUE DU LOUVRE
75-PARIS 1er
TÉL. 236 07-51
TELEX 68560 MINEQUI PARIS

69 RUE DE MARÉVILLE
54-LAXOU/NANCY
TÉL. 53-94-33
TELEX 85055 MINEQUI LAXOU

Imprimerie Robert LOUIS, S.P.R.L., rue Borrens 35-43, 1050 Bruxelles
Drukkerij Robert LOUIS, P.V.B.A., Borrensstraat 35-43, 1050 Brussel